

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



MAESTRÍA EN GEOMÁTICA ORIENTADA AL
ORDENAMIENTO TERRITORIAL

TÍTULO:
IMPLEMENTACIÓN EN GRASS-GIS DE
TÉCNICAS DE FUSIÓN DE IMÁGENES DIGITALES

Proyecto de graduación previo a la obtención del
Grado de Magister en Geomática

Autor:
Ing. Paúl William Pesántez Cobos

Director:
Fulgencio Cánovas García, PhD

OCTUBRE – 2015
CUENCA – ECUADOR



Resumen

En el campo de la teledetección, existen diferentes métodos para integrar imágenes de diferente resolución espectral y espacial, con el fin de obtener imágenes fusionadas que potencien las capacidades que presentan separadamente. Varias de estas técnicas han sido implementadas en su mayoría en software privativo, lo cual limita a los usuarios de software libre el acceso a estas herramientas geoinformáticas.

El objetivo de este estudio fue implementar en un software libre (GRASS-GIS), tres técnicas de fusión de imágenes: *High Pass Filter*, Análisis de Componentes Principales y *Gram-Schmidt*; aplicar estas técnicas para fusionar imágenes multiespectrales y pancromáticas de cuatro plataformas satelitales (QuickBird, IKONOS, Landsat 7 y Landsat 8) y una plataforma aerotransportada (Proyecto Natmur-08); y, evaluar los resultados cualitativamente mediante una comparación visual y, cuantitativamente, mediante dos índices de calidad implementados en GRASS en esta investigación: Índice universal de calidad de la imagen e Índice ERGAS.

Los resultados muestran en primera instancia que la aplicación de las técnicas de fusión tanto en GRASS como en software privativo producen resultados muy similares. Con relación a la aplicación de los algoritmos de fusión implementados en GRASS, la evaluación cualitativa reporta mejor valoración a las imágenes con mayor ratio espacial. Los resultados de la evaluación cuantitativa indican una mayor dispersión en términos de tipo de imagen empleada, pero mayor consistencia entre la valoración aportada por cada índice para una misma imagen analizada.

Palabras clave: teledetección, fusión de imágenes, GRASS-GIS, *High Pass Filter*, Análisis de Componentes Principales, *Gram-Schmidt*, índice universal de calidad de imagen, índice ERGAS.



Abstract

In the field of remote sensing, there are different ways to integrate images from different spectral and spatial resolution in order to obtain fused images that enhance the capabilities which present separately. Several of these techniques have been implemented, mostly on proprietary software, which limits free software users access to these geo-informatics tools.

This study had a threefold aim with the first being to implement three image fusion techniques in free software (GRASS-GIS): High Pass Filter, Principal Component Analysis and Gram-Schmidt. The second aim was to apply these techniques to merge multispectral and panchromatic images of four satellite platforms (QuickBird, IKONOS, Landsat 7 and Landsat 8) and an airborne platform (Natmur-08 Project). The third and final aim was to assess the results qualitatively by a visual comparison and quantitatively by two quality indices implemented in GRASS in this research: Universal Image Quality Index and ERGAS Index.

The initial results demonstrate that the application of fusion techniques, both GRASS and proprietary software, produce very similar results. With regard to the application of fusion algorithms implemented in GRASS, qualitative evaluation reports better assessment to images with higher spatial ratio. The results of the quantitative assessment indicate greater dispersion in terms of the type of image used, but greater consistency between the valuation provided by each index for the same image analyzed.

Keywords: Remote sensing, pan-sharpening, GRASS-GIS, High Pass Filter, Principal Component Analysis, Gram-Schmidt, Universal Image Quality Index, ERGAS Index.



Índice general

Resumen	2
Abstract	3
Índice general	4
Índice de figuras	6
Índice de tablas	8
Glosario de abreviaturas	9
Agradecimientos	13
Dedicatoria	14
CAPÍTULO 1: Introducción	15
1.1. Marco teórico.....	15
1.1.1. Conceptos.....	15
1.1.2. Fusión de imágenes.....	17
1.1.3 Recursos informáticos.....	20
1.1.3.1 Software libre y su inserción en las políticas nacionales.....	20
1.1.3.2 Software SIG, GRASS GIS.....	21
1.1.3.3 Software y hardware utilizado.....	21
1.2 Objetivos.....	22
1.2.1 Objetivo general.....	22
1.2.2 Objetivos específicos.....	22
CAPÍTULO 2: Materiales y métodos	24
2.1 Sensores remotos, plataformas de teledetección e imágenes empleadas.....	24
2.1.1 Satélite QuickBird.....	26
2.1.2 Satélite IKONOS.....	27



2.1.3 Satélites Landsat 7 y Landsat 8.....	28
2.1.4 Plataforma aérea. Proyecto Natmur-08.....	30
2.2 Métodos de fusión de imágenes implementados.....	31
2.2.1 Algoritmo High Pass Filter (HPF).....	32
2.2.2 Algoritmo Análisis de Componentes Principales (ACP).....	37
2.2.3 Algoritmo Gram-Schmidt (GS).....	39
2.3 Métodos para evaluación de la fusión de imágenes.....	42
2.3.1 Evaluación cualitativa.....	43
2.3.2 Evaluación cuantitativa.....	43
2.3.2.1 Índice universal de calidad de la imagen (Índice Q).....	44
2.3.2.2 Índice ERGAS (erreur relative globale adimensionnelle de synthèse). 45	
CAPÍTULO 3: Resultados y discusión	47
3.1 Scripts.....	47
3.1.1 Script HPF.....	48
3.1.2 Script ACP.....	49
3.1.3 Script GS.....	49
3.1.4 Script Índice universal de calidad de imagen.....	50
3.1.5 Script Índice ERGAS.....	50
3.2 Evaluación cualitativa.....	50
3.3 Evaluación cuantitativa.....	58
3.4 Comparación de las imágenes fusionadas en GRASS y en software privativo....	61
CAPÍTULO 4: Conclusiones	64
Bibliografía	66
ANEXOS	74



Índice de figuras

Figura 1.1: Espectro electromagnético.....	16
Figura 2.1: Ubicación de las imágenes empleadas. Ecuador-Perú.....	25
Figura 2.2: Ubicación de las imágenes empleadas. España.....	25
Figura 2.3: Recorte de la imagen QuickBird utilizada en la fusión.....	26
Figura 2.4: Recorte de la imagen IKONOS utilizada en la fusión.....	27
Figura 2.5: Recorte de la imagen Landsat 7 utilizada en la fusión.....	29
Figura 2.6: Recorte de la imagen Landsat 8 utilizada en la fusión.....	30
Figura 2.7: Recorte de la imagen Natmur-08 utilizada en la fusión.....	31
Figura 2.8: Aplicación del algoritmo de fusión de imágenes HPF.....	34
Figura 2.9: Aplicación del algoritmo de fusión de imágenes ACP.....	38
Figura 2.10: Aplicación del algoritmo de fusión de imágenes GS.....	40
Figura 3.1: Encabezado cuando se ejecuta el script HPF.....	48
Figura 3.2: Recorte de la imagen QuickBird, Catedral de Azogues y Parque del Trabajo; original y fusionadas.....	52
Figura 3.3: Recorte de la imagen QuickBird, Redondel de acceso de la autopista al Terminal Terrestre de Azogues; original y fusionadas.....	52
Figura 3.4: Recorte de la imagen IKONOS, campus universitario de la Universidad de Cuenca; original y fusionadas.....	53
Figura 3.5: Recorte de la imagen IKONOS, Piscinas de aguas termales Baños-Cuenca; original y fusionadas.....	53
Figura 3.6: Recorte de la imagen Landsat 7, segmento del río internacional Chira con uno de sus afluentes, 10 km aguas abajo de Zapotillo; original y fusionadas.....	54
Figura 3.7: Recorte de la imagen Landsat 7, tramo de la cola del embalse Poechos-Perú; original y fusionadas.....	54
Figura 3.8: Recorte de la imagen Landsat 8, aeropuerto Mariscal La Mar Cuenca-	



Ecuador; original y fusionadas.....	55
Figura 3.9: Recorte de la imagen Landsat 8, Parque Nacional Cajas, laguna Toreadora y tramo de vía Cuenca-Guayaquil; original y fusionadas.....	55
Figura 3.10: Recorte de la imagen Natmur-08, parcelas de labor Archivel-Caravaca de la Cruz-Murcia-España; original y fusionadas.....	56
Figura 3.11: Recorte de la imagen Natmur-08, parcelas de labor y galpones Archivel-Caravaca de la Cruz-Murcia-España; original y fusionadas.....	56



Índice de tablas

Tabla 1.1: Clases de resolución espacial para sistemas de adquisición aéreos y satelitales	18
Tabla 2.1: Principales características de los satélites Landsat 7 y Landsat 8.....	28
Tabla 2.2: Tamaño y valor central de la matriz de filtraje en función de R.....	35
Tabla 2.3: Valores del parámetro M en función del ratio R.....	36
Tabla 3.1: Valoración cualitativa según algunos criterios de interpretación visual en las figuras 3.2 a 3.11.....	58
Tabla 3.2: Valoración cuantitativa de las imágenes fusionadas.....	61
Tabla 3.3: Evaluación cuantitativa entre la imágenes fusionadas en GRASS y software privativo.....	63



Glosario de Abreviaturas

ACP	Análisis de Componentes Principales
BASH	<i>Bourne again shell</i>
B, G, R, NIR	<i>Blue, Green, Red, Near-Infrared</i>
CCD	<i>Charge Coupled Devices</i>
CLUT	<i>Color Look Up Table</i>
CP	Componentes Principales
ERGAS	<i>Erreur relative globale adimensionnelle de synthèse</i>
ESPE	Escuela Politécnica del Ejército
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
GDAL	<i>Geospatial Data Abstraction Library</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GLCF	<i>Global Land Cover Facility</i>
GNU	<i>GNU is Not Unix</i>
GPL	<i>General Public License</i>
GRASS-GIS	<i>Geographic Resources Analysis Support System - GIS</i>
GS	<i>Gram-Schmidt</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
HPF	<i>High Pass Filter</i>
IERSE	Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador
IHS	<i>Intensity, hue, saturation</i>
LiDAR	<i>Light Detection And Ranging o Laser Imaging, Detection and Ranging</i>
MDT	Modelo Digital del Terreno
MS	Imagen Multiespectral
ND	Nivel Digital
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
OS	<i>Operating System</i>
OSGeo	<i>Open Source Geospatial Foundation</i>
PAN	Imagen Pancromática
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>



SIG	Sistema de Información Geográfica
SIGTIERRAS	Programa Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica
SL	Software Libre
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
WRS	<i>Worldwide Reference System</i>



Universidad de Cuenca
Cláusula de propiedad intelectual

Yo, Paúl William Pesántez Cobos, autor de la tesis "IMPLEMENTACIÓN EN GRASS-GIS DE TÉCNICAS DE FUSIÓN DE IMÁGENES DIGITALES", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 05 de octubre de 2015

Paúl William Pesántez Cobos

C.I: 010219326-5



Universidad de Cuenca
Cláusula de derechos de autor

Yo, Paúl William Pesántez Cobos, autor de la tesis "IMPLEMENTACIÓN EN GRASS-GIS DE TÉCNICAS DE FUSIÓN DE IMÁGENES DIGITALES", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Magister en Geomática. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 05 de octubre de 2015

Paúl William Pesántez Cobos

C.I: 010219326-5



Agradecimientos

La culminación de este trabajo académico, permite hacer una pausa para mirar el sendero transitado. En primer lugar debo decir que aprecio mucho el trabajo de hombres y mujeres que me han antecedido en ese caminar relacionado a la investigación en las áreas de teledetección y fusión de imágenes.

El desarrollo de esta tesis vio su origen como quizá la mayoría de proyectos nace, con una necesidad, con un sueño, con una idea, con una conversación. Podría decir que en cada uno de estos aspectos estuvo presente Fulgencio Cánovas, director de esta tesis. Fulgencio supo guiar este trabajo desde los aspectos relacionados a la temática tratada, hasta aquellos relacionados a la redacción y la presentación. Gracias Fulgencio por tus consejos, por ofrecer tu tiempo en medio de todas tus responsabilidades, ya sea que estuvieses en esta ciudad o fuera de ella. Valoro mucho tu compromiso y me alegra que seas el coautor de este trabajo.

Debo agradecer a la Universidad de las Fuerzas Armadas, particularmente al Ing. Oswaldo Padilla, por permitirme utilizar en este trabajo la imagen QuickBird descrita en la sección 2.1.1. De igual manera, a la Universidad del Azuay, en especial al Ing. Omar Delgado, por facilitarme el uso de la imagen IKONOS descrita en la sección 2.1.2.

También agradezco las contribuciones al texto final realizadas por el tribunal lector de esta tesis, Daniela Ballari y Enrique Acosta. Gracias Daniela, estuviste presta a poner ese aliento para comenzar el trabajo de tesis, cuando por diferentes motivos el mismo parecía muy difícil de iniciar.

No puedo dejar de agradecer a Jaime Pesántez, por el aporte generoso que hizo para que yo pueda mantener mi concentración en este trabajo académico. Gracias hermano.

He reservado este espacio final para agradecer a toda mi familia, en especial a mi esposa Nury y a mis hijas, Débora y Johanna, por su apoyo durante todo el período que duró esta maestría, incluyendo los módulos presenciales y el trabajo de tesis. Su amor, manifestado en muchas maneras, ha sido la expresión visible de la bondad de Dios hacia mi vida.



A Nury, Débora y Johanna



CAPÍTULO 1

Introducción

1.1. Marco teórico

1.1.1. Conceptos

El concepto fusión de imágenes digitales, aplicado al presente estudio, se inserta dentro del campo general de la Percepción Remota o Teledetección¹; y, particularmente, como parte del procesamiento digital de imágenes, dentro de las técnicas computacionales para la integración de imágenes de diferente resolución espacial —en inglés conocido como *pan-sharpening*— (Cánovas García y Alonso Sarría, 2014).

La teledetección en un sentido amplio es “la adquisición de información sobre un objeto a distancia, esto es, sin que exista contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador” (Sobrino, 2000). En una forma más precisa, teledetección es la práctica de obtener información de coberturas terrestres o superficies marinas, utilizando imágenes adquiridas desde una perspectiva aérea (o espacial), usando la radiación electromagnética en una o más regiones del espectro electromagnético, reflejada o emitida por la superficie de la Tierra (Campbell y Wynne, 2011).

Para que tal “observación” sea posible, se requiere algún tipo de interacción entre el sistema observado y el observador (Chuvieco Salinero, 2010). Esto se logra por un principio muy similar a la visión, aquella capacidad sensorial que comparte el género humano y muchos animales. Así, si estamos frente a una ventana, podemos percibir información de algún objeto en nuestro entorno gracias a la energía luminosa de dicho objeto que llega a nuestro ojo. Generalmente, si estamos en el día, esa energía luminosa es aquella emitida por el sol y reflejada por el objeto en cuestión. Pero también en la noche, podemos distinguir un objeto, siempre que éste tenga la capacidad de emitir luz propia, tal cual un faro lo podríamos mirar desde algún punto en el mar.

¹ Percepción Remota es la traducción literal del término anglosajón *Remote Sensing*. El término Teledetección, más generalizado en la lengua castellana, proviene del francés *télé-détection*.

Este proceso es posible debido a que el ojo humano es sensible a ondas de radiación electromagnética de longitudes específicas, las mismas que son transmitidas al cerebro para su respectiva interpretación. El conjunto de diferentes longitudes de ondas electromagnéticas, agrupadas generalmente en bandas, se denomina espectro electromagnético (figura 1.1). Son estos principios los que están implicados en la teledetección, aunque se puede anotar que mientras el ojo humano es sensible a una porción específica del espectro electromagnético denominada espectro visible, los sensores utilizados en teledetección pueden detectar otras porciones de dicho espectro. Dentro de las principales, además de las bandas del espectro visible, se podría anotar: infrarrojo cercano, infrarrojo medio, infrarrojo lejano o térmico y micro-ondas.

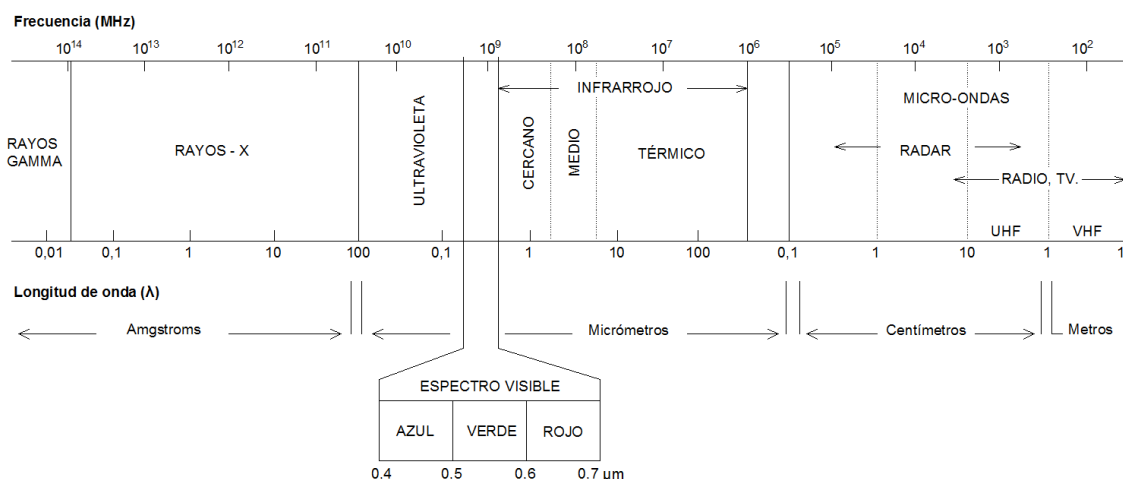


Figura 1.1: Espectro electromagnético (Chuvieco Salinero, 2010).

La historia de la teledetección está íntimamente ligada al desarrollo de la fotografía por una parte, y por otra, a la búsqueda del ser humano de llegar a ocupar un lugar en los cielos. Así, se puede anotar que las primeras fotografías aéreas fueron tomadas desde globos aerostáticos a mediados del siglo XIX². Por supuesto, con el desarrollo de la aeronáutica y posteriormente la industria aeroespacial, sumado al progreso no menos vertiginoso de las cámaras fotográficas y sensores remotos, se podría decir que estamos atravesando una época muy provechosa en el campo de la teledetección.

² Una presentación más detallada de la evolución histórica en estas áreas la podemos encontrar en: Gomarasca (2009), Chuvieco Salinero (2010) y Campbell y Wynne (2011).



En el presente trabajo, mientras no se haga alguna precisión, se utilizará indistintamente el término *imágenes* para referirse tanto a las imágenes digitales captadas desde plataformas aéreas como satelitales.

1.1.2. Fusión de imágenes

Como ya se ha anotado, la fusión de imágenes, a veces conocida como fusión de datos, es un proceso digital dentro del campo de la teledetección. Como tal, es preciso caracterizar el tipo de información con el que se pretende trabajar.

Una imagen digital, también llamada imagen raster o imagen matricial, es una representación en el espacio bidimensional de una imagen o escena de la superficie terrestre. Esta representación se materializa en una matriz numérica, donde cada elemento de la matriz es un punto de color conocido como píxel (la escala de grises es una escala de color monocromática) y su valor es conocido como Nivel Digital (ND). Por supuesto, al estar hablando de un espacio geográfico, se requiere que dicha matriz tenga correspondencia entre sus dimensiones con la realidad, y entre su posición respecto a un sistema de referencia definido³.

La imagen digital, así descrita, tendrá algunas características técnicas definidas por el tipo de sensor que captó dicha imagen. Hablamos entonces de la calidad o resolución del sensor y en último término de la resolución y calidad de la imagen. En este sentido, se han descrito cuatro tipos de resolución que definen en forma global las capacidades de un sensor en teledetección (Chuvieco Salinero, 2010):

1.- La *resolución espacial*, definida como el tamaño de un píxel de la imagen raster, o dicho de otra manera, el objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. Generalmente son elementos con la forma de un cuadrado y su medida varía de algunos centímetros hasta varios kilómetros como se muestra en la tabla 1.1.

³ Escapa a los objetivos del presente estudio ahondar más en los procesos previos de corrección y calibración hasta llegar a obtener una imagen ortorectificada y georreferenciada, aspectos que será necesario tomar en cuenta de acuerdo al nivel de procesamiento que disponga la imagen.

Tabla 1.1: Clases de resolución espacial para sistemas de adquisición aéreos y satelitales (Gomarasca, 2009).

Clase de Resolución	Resolución Espacial (m)	Resolución	Acrónimo (inglés)
1	0.1-0.5	Muy muy alta	VVH
2	0.5-1	Muy alta	VH
3	1-4	Alta	H
4	4-12	Media	M
5	12-50	Media Baja	ML
6	50-250	Baja	L
7	250-1000	Muy baja	VL
8	>1000	Muy muy baja	VVL

2.- La *resolución espectral*, dada por el número y amplitud (rango de longitudes de onda) de bandas espectrales que el sensor puede captar. En el espectro electromagnético suelen establecerse una serie de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. Las bandas más comunes en teledetección corresponden a: las del espectro visible (rojo, verde y azul); el infrarrojo cercano, el infrarrojo medio; el infrarrojo lejano o térmico; y, la región del micro-ondas. En función de la capacidad del sensor para discriminar diferentes bandas, se tienen sensores pancromáticos, multiespectrales e hiperespectrales.

3.- La *resolución radiométrica*, determinada por la sensibilidad del sensor para distinguir valores de radiancia espectral de los objetos en la escena. Se expresa como niveles de gris que puede detectar el sensor. Una resolución radiométrica de 8 bits, por ejemplo, indica que se puede almacenar $2^8 = 256$ niveles de gris.

4.- La *resolución temporal*, es la frecuencia con la que el sensor adquiere imágenes de una misma porción de la superficie terrestre. La duración de este ciclo (relacionado a las



características orbitales), está en función de los objetivos para los cuales fue construido y puesto en órbita el sensor. Esta dimensión temporal, necesariamente adquiere otro sentido en el caso de imágenes captadas desde plataformas aéreas (aviones o vehículos aéreos no tripulados), debido a la posibilidad teórica de realizar vuelos según los requerimientos de un determinado proyecto.

Las principales características de los sensores cuyas imágenes han sido utilizadas en el presente trabajo serán detalladas en la sección 2.1.

Definidas estas características, la fusión de imágenes ha sido descrita como un conjunto de técnicas que combina imágenes de diferente resolución espacial o que posean distinto tipo de información a fin de generar nuevas imágenes (Liu y Mason, 2009), potenciando las capacidades que presentaban por separado (Tapiador y Casanova, 2001). Lo que se pretende es mejorar la interpretabilidad de los datos, ya sea mejorando su calidad visual, facilitando la discriminación de ciertas categorías, o demostrando la solidez de un determinado método de análisis (Chuvieco Salinero, 2010). En este caso las imágenes multiespectrales, generalmente de baja resolución espacial, son combinadas con una imagen pancromática de mayor resolución espacial, aprovechando la sinergia existente. Es preciso por tanto que los dos conjuntos de imágenes tengan un registro geométrico, que permita una adecuada integración en el proceso⁴.

Otro aspecto que añade especial relevancia al estudio de la fusión de imágenes es que más del 70% de los satélites de observación terrestre y una gran cantidad de cámaras aéreas digitales están equipadas simultáneamente con sensores pancromáticos y multiespectrales (Zhang y Mishra, 2012; Zhang, 2004), éstos últimos con menor resolución espacial pero alta resolución espectral; y, los primeros, justamente lo contrario, evidenciando la complementariedad de estos dos conjuntos de datos.

Varios algoritmos han sido propuestos y se han realizado algunos intentos por clasificar estas metodologías. Un panorama más amplio puede ser consultado en Pohl y Van

4 El registro geométrico consiste en hacer coincidir geográficamente cada punto de la imagen multiespectral con su correspondiente en la banda pancromática a combinarse. Generalmente en la práctica, este proceso viene dado por defecto cuando estos conjuntos de imágenes son capturados simultáneamente desde la misma plataforma donde están instalados los sensores. En caso contrario, se requiere un análisis y eventualmente un proceso previo que puede ser realizado con el software GRASS-GIS (Alonso Sarriá, s. f. y Neteler y Mitasova, 2008).



Genderen (1998), Darvishi Boloorani (2008), Amro et al. (2011) y Basaeed et al. (2013).

En el presente trabajo se abordarán tres algoritmos de fusión de imágenes: *High Pass Filter*, Análisis de Componentes Principales y *Gram-Schmidt*. Los mismos se encuentran descritos en la sección 2.2.

1.1.3 Recursos informáticos

1.1.3.1 Software libre y su inserción en las políticas nacionales

El software libre (SL) es software que le da al usuario la libertad de compartirlo, estudiarlo y modificarlo (Free Software Foundation, 2015).

Los principios básicos del Software Libre, no son la gratuidad, sino la posibilidad de compartir el conocimiento, la cooperación como base de la sociedad y el ejercicio de los derechos de los usuarios en base a sus necesidades (Stallman, 2004).

En el Ecuador, el movimiento del software libre comienza a cobrar forma a inicios del año 2000, con iniciativas individuales y en algunos casos institucionales (Vaca Vera, 2010). Desde la perspectiva estatal, puede marcarse un hito en la expedición del decreto 1014 emitido por la Presidencia de la República del Ecuador el 10 de abril del 2008, que en su primer artículo expresa: “Establecer como política pública para las entidades de la Administración Pública Central la utilización de Software Libre en sus sistemas y equipos informáticos” (Presidencia de la República del Ecuador, 2008). Paralelamente, como ejes estratégicos, se ha planteado entre otros la formación de Masa Crítica por medio de Convenios con Universidades, y difusión de los beneficios del SL hacia organizaciones de la sociedad civil en general (Subsecretaría de Informática, 2009).

Dentro del SL, el Sistema Operativo GNU/Linux⁵ es uno de los desarrollos más prominentes. Es desde esta plataforma que se ha realizado la mayor parte de este trabajo.

5 GNU/Linux es un Sistema Operativo (OS) compatible con UNIX (OS portable, multiarea y multiusuario), desarrollado por el Proyecto GNU, liderado por Richard Stallman. Utiliza el Núcleo Linux creado por Linus Torvalds con todas las herramientas del sistema GNU. Se distribuye bajo licencia GPL.



1.1.3.2 Software SIG, GRASS GIS

En el marco de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), emerge sin duda GRASS como uno de los proyectos SIG más importantes entre los programas de código libre (Alonso Sarría y Palazón Ferrando, 2004), no solo por la extensión del código sino por las funciones y herramientas que trae aparejadas.

GRASS-GIS (*Geographic Resources Analysis Support System - Geographic Information System*), comúnmente conocido como GRASS, es un conjunto de aplicaciones o herramientas informáticas SIG de código libre y abierto, utilizado para gestión y análisis de datos geoespaciales, procesamiento de imágenes, producción de gráficos y mapas, modelamiento espacial y visualización <<https://grass.osgeo.org/>>. GRASS GIS forma parte de *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), una organización no gubernamental creada para dar soporte al desarrollo colaborativo de software geoespacial de código abierto, y a la vez, fomentar su utilización (GRASS GIS, 2015).

GRASS, como la mayoría de los SIG, es un programa modular. Múltiples programas “pequeños” o módulos llevan a cabo tareas concretas de forma muy eficiente, generalmente basado en línea de comandos. Entre ellos cabe destacar un lenguaje de álgebra de mapas implementado en GRASS en el módulo *r.mapcalc* (Larson et al., 1991; Shapiro y Westervelt, 1992). La utilización de GRASS en un ambiente GNU/Linux permite aprovechar al máximo las potencialidades de este software. El hecho de que tanto Linux como GRASS sean libres, y compartan un alto grado de interoperabilidad, hace que usuarios nuevos y avanzados de los SIG dispongan de un sinnúmero de herramientas sencillas pero potentes, integradas en un programa robusto y altamente fiable (Neteler y Mitasova, 2008).

1.1.3.3 Software y hardware utilizado

El presente trabajo ha sido elaborado con software libre, desde una plataforma Linux. Solamente para efectos de comparación de resultados se han utilizado programas privativos desde el sistema operativo (OS por su acrónimo en inglés, *Operating System*) Windows. A continuación se presenta un listado de los programas utilizados:



- GRASS-GIS, versión 7.
- QGIS, versión 2.8.3-Wien.
- Paquete de oficina LibreOffice, versión 4.2.8.2.
- Editor de texto gedit, versión 3.10.4.
- Shell Bash.
- ERDAS IMAGINE 2011, versión 11.0.2 (Windows).
- ENVI, versión 4.7 (Windows).

El presente trabajo ha sido desarrollado en un ordenador de escritorio con procesador Intel CORE i7-3630QM de 64 bits, 2.40 GHz de velocidad y 12 Gb de memoria RAM. El equipo cuenta con una tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GTX 670M con una memoria de 3 Gb. Cada disco que dispone el equipo (500 Gb cada uno) alberga uno de los sistemas operativos arriba anotados.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Comparar los resultados de la aplicación de tres técnicas de fusión de imágenes (*High Pass Filter*, Análisis de Componentes Principales y *Gram-Schmidt*), en imágenes procedentes de cuatro tipos de sensores satelitales (Landsat 7, Landsat 8, IKONOS y QuickBird) y un sensor aerotransportado (cámara fotogramétrica), con algoritmos implementados en software libre (GRASS-GIS); y, evaluarlos cuantitativamente mediante Índices de Calidad, también implementados en GRASS.

1.2.2 Objetivos específicos

- Programar tres algoritmos de fusión de imágenes: *High Pass Filter*, Análisis de



Componentes Principales y *Gram-Schmidt*, para su respectiva ejecución en GRASS.

- Programar dos algoritmos para obtención de índices de calidad de la imagen fusionada: Índice Universal de Calidad de la Imagen e Índice ERGAS —*erreur relative globale adimensionnelle de synthèse*—, para su respectiva ejecución en GRASS.
- Aplicar los algoritmos en imágenes de cinco tipos de sensores satelitales: Landsat 7, Landsat 8, IKONOS, QuickBird y cámaras fotogramétricas, para imágenes de Ecuador y España.
- Comparar los resultados de la aplicación de las técnicas de fusión implementadas para determinar la que mejores resultados ofrezca de acuerdo a las zonas de estudio analizadas y sensores empleados.
- Poner a disposición de la comunidad científica los resultados de esta investigación; y particularmente, los *scripts*, acogiendo los principios del software libre.

Para lograr estos objetivos, en primer lugar se hace una descripción de la imágenes y metodologías a emplear (capítulo dos). Se describen por tanto las imágenes que se van a utilizar, los algoritmos de fusión a implementarse en GRASS-GIS y las metodologías para la evaluación de la calidad de las imágenes fusionadas. A continuación, una vez contruidos los scripts y aplicada la fusión en las diferentes imágenes utilizadas en este trabajo, en el capítulo tres se procede con la evaluación cualitativa y cuantitativa descrita en el capítulo precedente. También en este capítulo se realiza una comparación de los resultados de la fusión obtenidos en GRASS y los obtenidos en software privativo. En el capítulo cuatro se presentan las conclusiones obtenidas.



CAPÍTULO 2

Materiales y métodos

En este capítulo se caracterizan las imágenes utilizadas en esta investigación junto con los sensores y plataformas que captaron dichas imágenes (sección 2.1). Se hace una descripción de los algoritmos de fusión de imágenes a implementarse en este trabajo (sección 2.2). Finalmente, se describen los enfoques y metodologías de evaluación que se utilizarán para analizar la calidad de las imágenes fusionadas (sección 2.3).

2.1 Sensores remotos, plataformas de teledetección e imágenes empleadas

A partir de los años setenta son múltiples los proyectos emprendidos para la observación terrestre. Merecen especial atención aquellos proyectos con fines civiles, orientados a diferentes requerimientos ya sea mejorando su resolución espacial, espectral y/o radiométrica. Una revisión de algunos de los programas más importantes, aspecto que por supuesto esta en constante evolución, la podemos encontrar en Kramer (2002), Chuvieco Salinero (2010) y Njoku (2014).

En el presente trabajo se utilizarán imágenes captadas por sensores de cinco plataformas diferentes, que se describen en las secciones 2.1.1 a 2.1.4. A continuación se presentan dos mapas de ubicación general de las imágenes: uno con las imágenes ubicadas entre la zona sur de Ecuador y norte del Perú (figura 2.1) y otro con la imagen Natmur-08 en Murcia-España (figura 2.2).

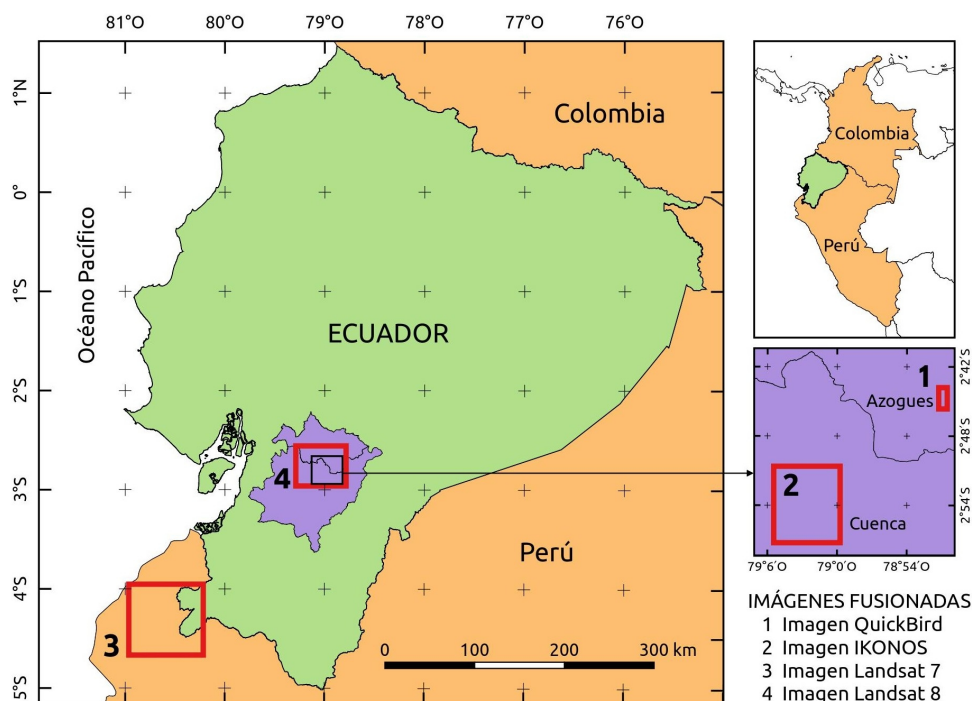


Figura 2.1: Ubicación de las imágenes empleadas. Ecuador-Perú.

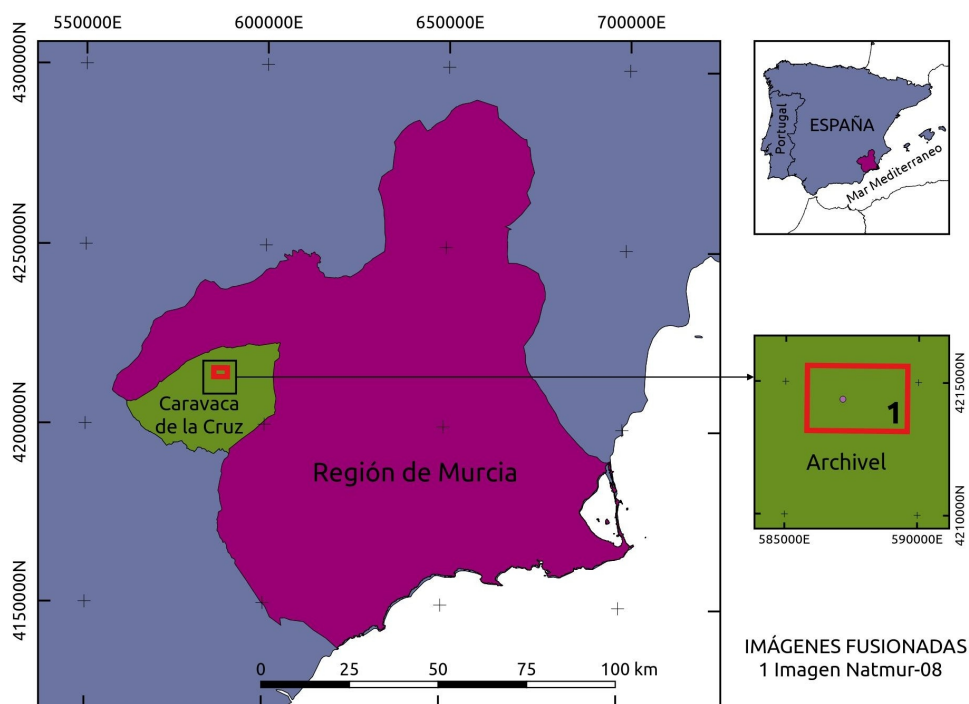


Figura 2.2: Ubicación de las imágenes empleadas. España.

2.1.1 Satélite QuickBird

Es un satélite comercial que fue lanzado el 18 de octubre de 2001 y estuvo en una órbita sincrónica al sol a 450 km y 482 km de la superficie terrestre⁶. Incorporaba dos cámaras CCD: una pancromática y otra multiespectral con aproximadamente 0.61 m y 2.50 m de resolución espacial respectivamente. Las bandas multiespectrales correspondían al Azul, Verde, Rojo e Infrarrojo Cercano (comúnmente conocidas por las siglas: B, G, R, NIR, del inglés: *Blue, Green, Red, Near-Infrared*). El ancho de barrido cubierto por estas imágenes es de entre 16.8 km y 18 km de acuerdo a la altura orbital. La resolución radiométrica es de 11 bits (DigitalGlobe, 2013b).

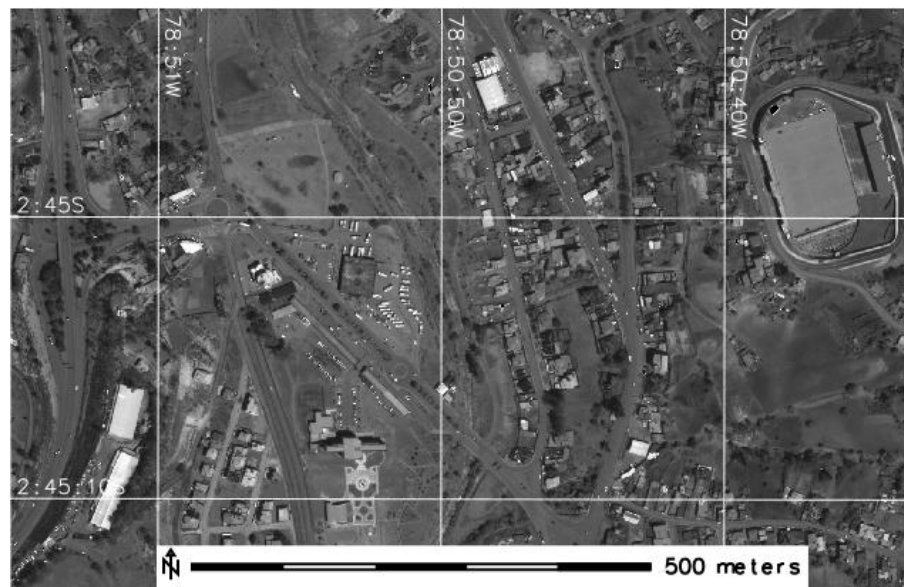


Figura 2.3: Recorte de la imagen QuickBird utilizada en la fusión.

La imagen Quickbird empleada en este trabajo académico ha sido gentilmente facilitada por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE (2015). La misma, corresponde a una extensión de 4.63 km² que cubre parte del límite urbano de la ciudad de Azogues - Ecuador, incluyendo un tramo del río Burgay que recorre en el sentido norte-sur. En la imagen se pueden distinguir sitios característicos como la Plaza Central, la autopista Cuenca-Azogues, el Terminal Terrestre y el Estadio Municipal. El tamaño de esta imagen (banda pancromática) es de 5,677 filas por 2,267 columnas. Un recorte de la

⁶ La órbita fue modificada durante la vida útil del satélite hasta su reingreso a la atmósfera de la Tierra en enero del 2015.

misma se puede observar en la figura 2.3.

2.1.2 Satélite IKONOS

Es un satélite comercial de observación terrestre lanzado el 24 de septiembre de 1999. Fue el primero en poner a disposición del público imágenes de alta resolución, constituyendo un hito en la teledetección. En órbita a 681 km de altitud, el sensor pancromático cuenta con una resolución de un metro y el multiespectral de 4 m con cuatro bandas (B, G, R, NIR). El ancho que cubre esta imagen es de 11 km. La resolución radiométrica es de 11 bits (DigitalGlobe, 2013a). A partir de enero de 2015 DigitalGlobe, empresa propietaria de este satélite, anunció que debido a problemas con los estándares de calidad que maneja la empresa, el satélite ha sido desactivado.

Para este trabajo académico se ha empleado el recorte de una imagen IKONOS de la ciudad de Cuenca, gentilmente facilitada por la Universidad del Azuay – IERSE (2015). La imagen cubre la parte oeste de la ciudad y varias parroquias rurales. El uso de suelo corresponde básicamente a zonas urbanas, cultivos, bosques y chaparros. El tamaño de la imagen utilizada es de 12,217 filas por 10,599 columnas, cubriendo una superficie de 129.49 km². Un recorte de la banda pancromática se observa en la figura 2.4.

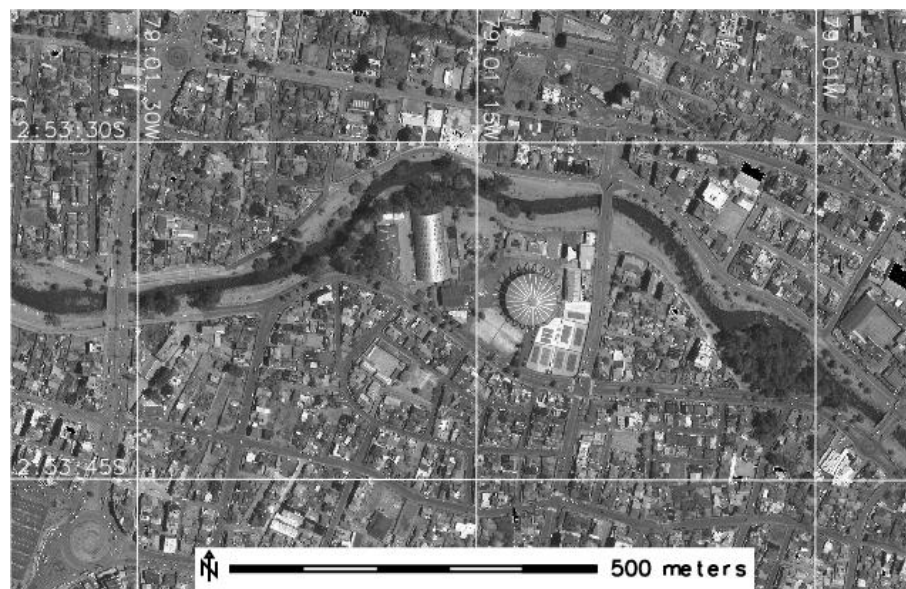


Figura 2.4: Recorte de la imagen IKONOS utilizada en la fusión.

2.1.3 Satélites Landsat 7 y Landsat 8

Estos satélites forman parte de una constelación de ocho satélites que ofrecen información de la superficie de la Tierra desde 1972, los primeros ya fuera de servicio. El proyecto Landsat ha constituido el proyecto más fructífero de teledetección espacial desarrollado hasta el momento (Chuvieco Salinero, 2010). La tabla 2.1 muestra las principales características de estos satélites.

Imágenes Landsat, y también de otros sensores, están a disposición del público en la página oficial del Programa GLCF <<http://www.landcover.org/>> y del Servicio Geológico de los Estados Unidos - USGS <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.

Tabla 2.1: Principales características de los satélites Landsat 7 y Landsat 8 (Landsat Project Science Office, 2011; U.S. Geological Survey, 2015).

Característica	Landsat 7	Landsat 8
Fecha de lanzamiento	15 de abril de 1999	11 de febrero de 2013
Altura orbital nominal	705 kilómetros en una órbita sincrónica con el sol	705 kilómetros en una órbita sincrónica con el sol
Sensores a bordo	ETM+	OLI y TIRS
Resolución espectral y espacial	7 bandas espectrales con una resolución espacial de 30 m a excepción de la banda 6 (térmico) que tiene una resolución de 60 m. Una banda pancromática con una resolución de 15 m.	9 bandas espectrales con una resolución espacial de 30 m a excepción de la banda 8 (pancromático) que tiene una resolución de 15 m. Además 2 bandas en la región del térmico con una resolución de 100 m.
Resolución radiométrica	8 bits	12 bits
Resolución temporal	16 días	16 días
Tamaño de la escena	185 kilómetros	180 kilómetros (norte-sur) 190 kilómetros (este-oeste)

Las imágenes empleadas en este trabajo son⁷:

- Imagen Landsat 7: corresponde a la parte continental de la imagen *P011R063* adquirida el 25 de octubre de 2001. Con una extensión de 6,555.41 km², cubre la parte sur-occidental de la Provincia de Loja (cantón Zapotillo – Ecuador) y parte de los Departamentos de Tumbes y Piura en el Perú. No se encuentran centros urbanos principales como capitales provinciales o departamentales. En su mayoría la región está conformada por bosques secos, zonas áridas y cultivos en menor cantidad. En esta imagen se distingue la Represa de Poechos, que forma parte del Proyecto de riego Chira-Piura en el Perú. El tamaño de la imagen es de 5,544 filas por 5,823 columnas. Un recorte se presenta en la figura 2.5.

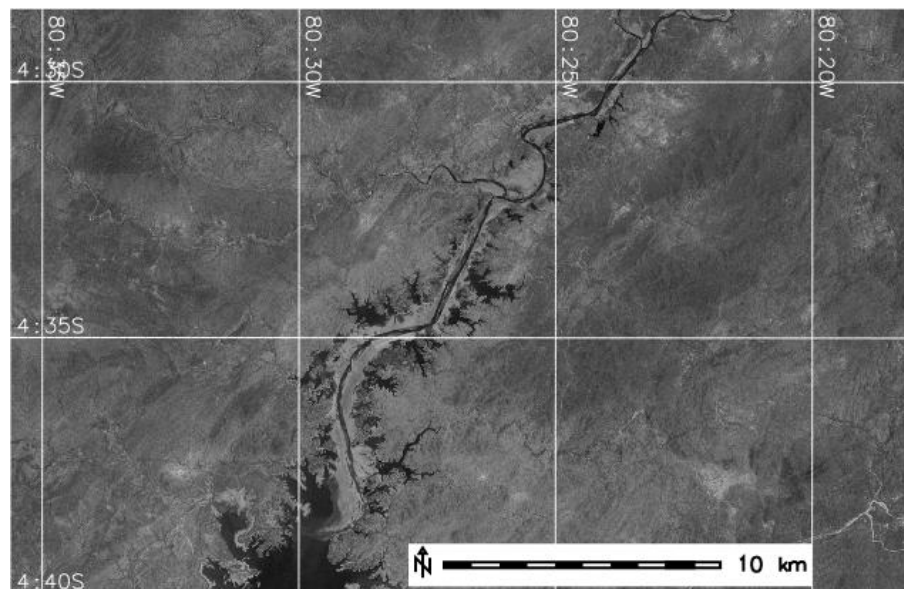


Figura 2.5: Recorte de la imagen Landsat 7 utilizada en la fusión.

- Imagen Landsat 8: corresponde a un tramo de la imagen *P010R062* adquirida el 30 de octubre de 2014. Cubre las ciudades de Cuenca y Azogues, así como el Parque Nacional Cajas. Se puede distinguir una importante superficie de páramo andino asentada en la Cordillera Occidental ecuatoriana, así como zonas urbanas, cultivos y bosques. La imagen posee un tamaño de 2,977 filas por 3,736 columnas y una superficie de 2,502.47

⁷ Las imágenes Landsat están catalogadas bajo un sistema de notación global denominado *Worldwide Reference System* (WRS). Este sistema permite a un usuario consultar imágenes Landsat de cualquier parte del mundo mediante la especificación de un centro de escena nominal designada por el número de columna y fila (*Path* y *Row*) en la que se encuentre. Por ejemplo, imagen Landsat P011R063.

km². La figura 2.6 muestra un recorte de la misma.

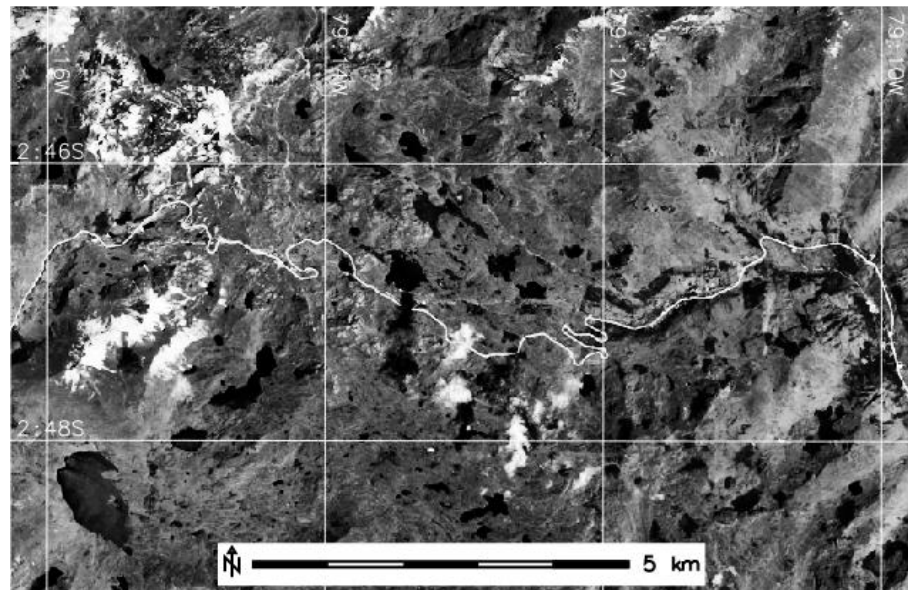


Figura 2.6: Recorte de la imagen Landsat 8 utilizada en la fusión.

2.1.4 Plataforma aérea. Proyecto Natmur-08

El Proyecto Natmur-08, fue una asistencia técnica contratada por la administración regional murciana (Región de Murcia - España), que consistió en la realización de un vuelo fotogramétrico digital con sensores pancromático y multiespectral (bandas R, G, B, NIR); y un levantamiento LiDAR para generación de los modelos digitales del terreno, MDT. El proyecto generó imágenes pancromáticas con una resolución radiométrica de 12 bits y 40 cm de resolución espacial (GSD medio); e, imágenes multiespectrales de 12 bits y 1.50 m de resolución espacial (Cánovas García, 2012).

En este estudio se ha utilizado una imagen pancromática y multiespectral de 0.45 m y 2.00 m de resolución espacial, respectivamente. Con una extensión de 5,451 filas por 8,401 columnas, cubre la pedanía⁸ de Archivel, perteneciente al Municipio de Caravaca de la Cruz, en la Región de Murcia – España. Esta imagen tiene una superficie de 9.27 km². Un recorte de la misma se observa en la figura 2.7.

La pertinencia de utilizar estas imágenes se basa en dos razones: la dificultad de obtener

⁸ Pedanía es una entidad subcantonal española de carácter territorial.

imágenes de sensores aerotransportados a nivel nacional (Proyecto SIGTIERRAS, por ejemplo); y, la particularidad de que el proyecto Natmur-08 fue ejecutado en los años 2008-2009 por la misma empresa que realizó el proyecto SIGTIERRAS en el Ecuador, utilizando sensores de similares características.

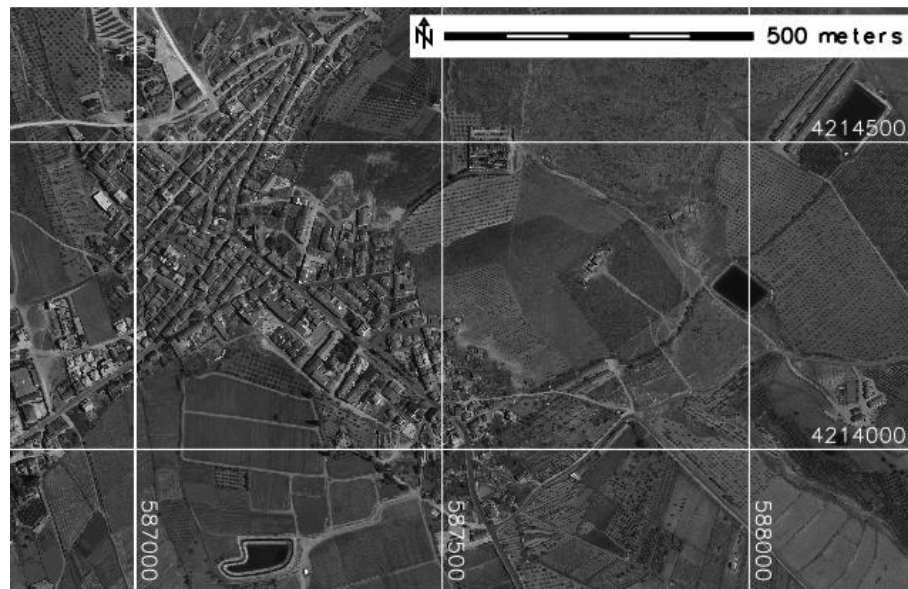


Figura 2.7: Recorte de la imagen Natmur-08 utilizada en la fusión (Coordenadas UTM Zona 30 N).

2.2 Métodos de fusión de imágenes implementados

Idealmente, un buen método de fusión de imágenes no debería solamente incrementar la resolución espacial de los datos multiespectrales, sino también preservar tanto como sea posible su integridad espectral (Chavez et al., 1991; Wald et al., 1997; Laben y Brower, 2000; Ranchin y Wald, 2000).

En el presente estudio, se han implementado tres algoritmos de fusión: *High Pass Filter*, *Análisis de Componentes Principales* y *Gram-Schmidt*. Su elección se ha dado considerando los buenos resultados reportados en estudios previos, así como por representar importantes grupos dentro de las técnicas de fusión de imágenes (Karathanassi et al., 2007; Gangkofner et al., 2008; Yuhendra y Sri Sumantyo, 2010;



Zhang y Mishra, 2012; Sarp, 2014; Cánovas García y Alonso Sarría, 2014).

El software GRASS-GIS, hasta su versión 6.4, disponía de un módulo para la fusión de imágenes por el método de Brovey (*i.fusion.brovey*). Aunque se han reportado interesantes resultados con este método (Du et al., 2007; Ehlers et al., 2010), sin embargo, el método está limitado a tres bandas multiespectrales de entrada. La versión 7.0 de GRASS ha implementado el módulo *i.pansharpen*, el cual ofrece la posibilidad de escoger entre 3 algoritmos de fusión: IHS, Brovey y ACP. Igualmente este módulo solo opera con tres bandas multiespectrales de entrada y una resolución radiométrica de hasta 8 bits. En este sentido, el usuario de GRASS se ve limitado de utilizar imágenes de varias plataformas (QuickBird, IKONOS, Landsat 8, cámaras digitales y otras), debido a que en algunos casos estas plataformas disponen de más de tres bandas multiespectrales, en otros casos, la resolución radiométrica es mayor a 8 bits, o se da una combinación de estos dos atributos.

Por otra parte, los algoritmos descritos e implementados en este trabajo pueden recibir varias bandas de entrada (aún más de tres) y no hay limitaciones en cuanto a la resolución radiométrica de las imágenes.

La implementación de los algoritmos se ha realizado mediante *scripts* de Bash⁹ que permiten la ejecución de una secuencia de comandos totalmente compatibles con GRASS. Cada *Script* tiene un encabezado con un título, descripción, uso y parámetros. Esto permite al usuario conocer una breve descripción de su funcionalidad, así como las opciones con las que se ejecutará el *script*. Cuando se corre un *script* mediante: “*sh nombre_del_script -help*”, se muestra este encabezado y se interrumpe la ejecución. El cuerpo del *script* contiene cada paso de la metodología que se presenta en las secciones 2.2.1 a 2.2.3. Los *scripts* se presentan en el Anexo 1.

2.2.1 Algoritmo *High Pass Filter* (HPF)

La técnica de fusión HPF pertenece al grupo de técnicas de fusión en el dominio espacial, es decir, insertan componentes de alta frecuencia a las imágenes de baja

⁹ Bash, *Bourne again shell*, es un shell Unix (intérprete de comandos) escrito para el Proyecto GNU. Corre normalmente desde una ventana de texto (terminal Linux) donde el usuario escribe comandos que causan acciones.

resolución espacial.

En una serie estadística, se habla de componentes de baja y alta frecuencia en función de la variación suave o brusca de la variable analizada. Extrapolando estos conceptos al tratamiento de imágenes, se dice que en una imagen, o una zona de ésta, existe un componente de baja frecuencia cuando el brillo o el color son uniformes, es decir, presentan variaciones muy suaves. Por el contrario, si existen cambios bruscos de intensidad en espacios pequeños, hablamos de la presencia de componentes de alta frecuencia lo cual suele presentarse en los contornos de objetos contenidos en la imagen (Carrión Pérez et al., 2006).

La metodología HPF ha tenido un desarrollo propio. Fue introducida por Schowengerdt (1980) como una técnica de reconstrucción y compresión de datos. Posteriormente esta idea se extendió a nuevos conjuntos de datos para fusionar imágenes de diferente resolución espacial y espectral (Chavez et al., 1984; Cliche et al., 1985; Chavez et al., 1991). Algunas variantes del proceso lo podemos encontrar en Carter (1998), De Béthune et al. (1998), Mularz et al. (2000) y Wang et al. (2005).

Esta técnica generalmente ha sido implementada en una manera simplista, debido a que los parámetros utilizados no se han optimizado a fin de lograr resultados espaciales y radiométricos satisfactorios (Gangkofner et al., 2008). Gangkofner, propone una optimización y estandarización del método en orden a su aplicabilidad a un amplio rango de imágenes, atendiendo a diferentes ratios entre la resolución espacial multiespectral y pancromática, de lo cual se derivan varios parámetros aplicados en el proceso.

El modelo conceptual (figura 2.8) consiste en aplicar un filtro de paso alto a la imagen pancromática (PAN) y combinar esta información con las imágenes multiespectrales (MS) mediante una operación de álgebra de mapas. Se resume en tres pasos:

1. Aplicación de un filtro de paso alto a la imagen pancromática.

Un filtro de paso alto, pretende aislar los componentes de alta frecuencia en una imagen (Chuvieco Salinero, 2010). El objetivo es conservar aquellos componentes atenuando

las bajas frecuencias. En términos prácticos, implica un realce de los contornos de los objetos o rasgos lineales presentes en la imagen.

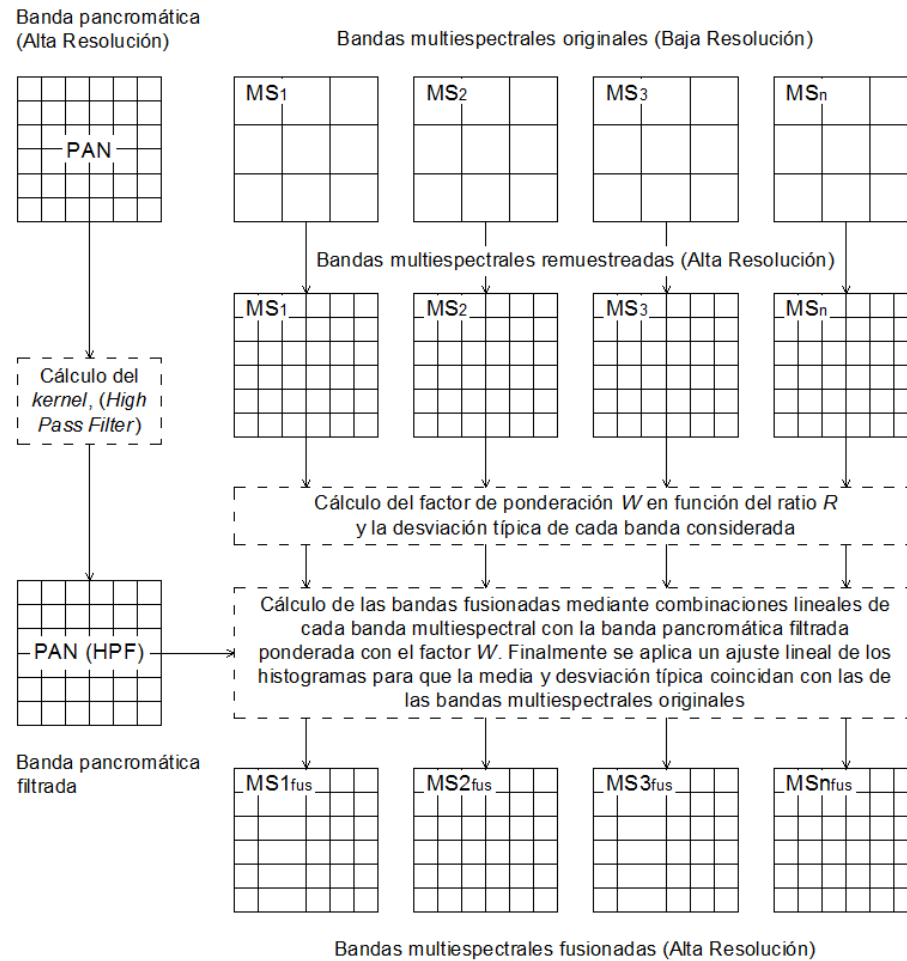


Figura 2.8: Aplicación del algoritmo de fusión de imágenes HPF.

Esta operación se consigue mediante una matriz de filtraje, también conocida como *kernel*. El tamaño de esta ventana (HPK por su acrónimo en inglés, *High Pass Kernel*), esta en función del ratio R (tabla 2.2), definido como:

$$R = \frac{r_m}{r_p} \quad (1)$$

donde r_m es el tamaño del píxel de las bandas multiespectrales y r_p es el tamaño del píxel de la banda pancromática.

Tabla 2.2: Tamaño y valor central de la matriz de filtraje en función de R (ERDAS IMAGINE, 2011).

Valor R	Tamaño HPK	Valor Central		
		Valor por defecto	Valores Opcionales	
$1 < R < 2.5$	5 x 5	24	28	32
$2.5 \leq R < 3.5$	7 x 7	48	56	64
$3.5 \leq R < 5.5$	9 x 9	80	93	106
$5.5 \leq R < 7.5$	11 x 11	120	150	180
$7.5 \leq R < 9.5$	13 x 13	168	210	252
$R \geq 9.5$	15 x 15	336	392	448

Todos los coeficientes del kernel toman el valor -1 a excepción del valor central el cual, según esta metodología, puede adoptar tres valores. El menor de ellos es el utilizado por defecto, como se ve en la tabla 2.2.

Cabe anotar que la imagen filtrada verá reducida su tamaño total en función del tamaño del *kernel*, por cuanto en los bordes no se aplica el proceso. Algunos autores han propuesto algunos algoritmos para superar este inconveniente, sin embargo en el presente trabajo se ha mantenido la primera opción considerando dos aspectos: primero, la aplicación de algoritmos altera en mayor o menor grado la homogeneidad de los resultados en los bordes; y segundo, en imágenes de un tamaño mayor a 512 x 512 (como las empleadas en el presente trabajo), la pérdida de estos píxeles no supone una gran inconveniencia (Chuvieco Salinero, 2010).

2. Adición de la imagen pancromática filtrada a cada banda de la imagen multiespectral.

Para realizar este proceso, previamente se debe realizar un reescalado de las bandas multiespectrales, viniendo a tener estas la resolución espacial de la banda pancromática. Las técnicas de reescalado utilizan procedimientos de interpolación matemáticos. Una

descripción detallada puede ser encontrada en Richards y Jia (2006). Las opciones incluidas en GRASS y consideradas en el *script* son: vecino más próximo, interpolación bilineal y convolución cúbica (*nearest, bilinear, bicubic*).

El estudio realizado por Grankofner (2008) propone que la imagen filtrada (paso 1) sea añadida a cada banda multiespectral reescalada. Para ello, se introduce un factor de ponderación W , en función de: parámetro M (dependiente del valor de R); y, de la desviación típica tanto de la imagen filtrada como de la banda multiespectral que esta siendo calculada:

$$W = \left(\frac{\sigma_{ms}}{\sigma_{hpf}} \right) * M \quad (2)$$

donde W es el factor de ponderación, σ_{ms} es la desviación típica de cada una de las bandas multiespectrales, σ_{hpf} es la desviación típica de la imagen filtrada y M es un parámetro que determina la intensidad en la aplicación del filtro, el cual está en función del ratio de las imágenes (tabla 2.3).

Tabla 2.3: Valores del parámetro M en función del ratio R (ERDAS IMAGINE, 2011).

Valor R	Valor de M		
	Máximo	Por Defecto	Mínimo
$1 < R < 2.5$	0.30	0.25	0.20
$2.5 \leq R < 3.5$	0.65	0.50	0.35
$3.5 \leq R < 5.5$	0.65	0.50	0.35
$5.5 \leq R < 7.5$	1.0	0.65	0.50
$7.5 \leq R < 9.5$	1.4	1.0	0.65
$R \geq 9.5$	2.0	1.35	1.0

El cálculo de cada banda fusionada viene dado por una combinación lineal:

$$P_{out} = P_{input} + [P_{HPF} * W] \quad (3)$$

donde P_{out} es cada píxel de la imagen fusionada; P_{input} es cada píxel de la imagen multiespectral reescalada; y, el segundo término es un producto escalar con P_{HPF} como la imagen pancromática filtrada y W el factor de ponderación descrito en la ecuación (2).

3. Expansión Lineal del Histograma.

Este último procedimiento ajusta la imagen resultante del paso 2, de forma que la media y la desviación típica coincidan con las de la imagen original. Esto permite una comparación visual directa entre la imagen fusionada y la original. Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$P_{fus} = (P_{out} * Gain) + Bias \quad (4)$$

con:

$$\begin{aligned} Gain &= \frac{\sigma_0}{\sigma_1} \quad y, \\ Bias &= \mu_0 - (Gain * \mu_1) \end{aligned} \quad (5)$$

donde:

P_{fus} , es la imagen fusionada aplicada la expansión lineal.

P_{out} , es la imagen fusionada en el paso 2.

Gain y Bias, son parámetros de ajuste calculados a partir de:

μ_0 y μ_1 , media de las bandas multiespectrales original y P_{out} , respectivamente.

σ_0 y σ_1 , desviación típica de las bandas multiespectrales original y P_{out} , respectivamente.

2.2.2 Algoritmo Análisis de Componentes Principales (ACP)

Este algoritmo de fusión de imágenes se considera como una técnica de sustitución de componentes. Implica una transformación lineal de las bandas multiespectrales, la sustitución de una variable en el espacio transformado, y la transformación inversa al

espacio original (Shettigara, 1992). El diagrama del proceso se expone en la figura 2.9.

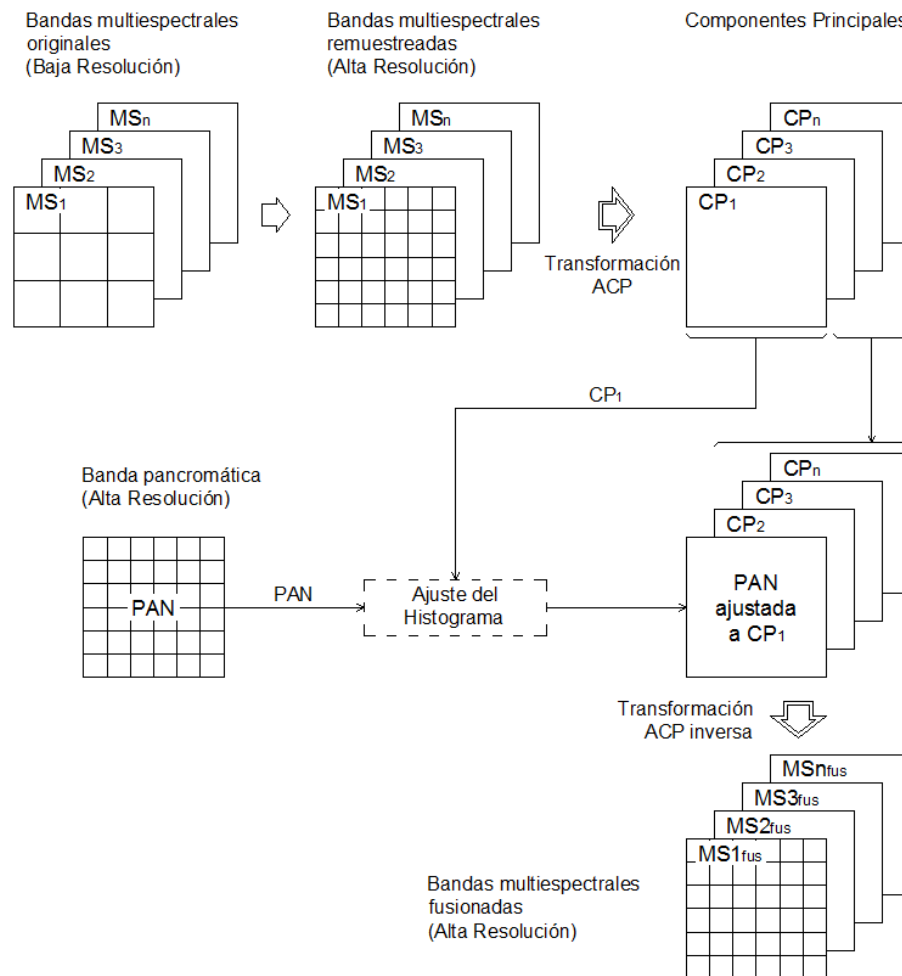


Figura 2.9: Aplicación del algoritmo de fusión de imágenes ACP.

El ACP es una técnica estadística que transforma un conjunto de datos multivariados (en este caso un conjunto de bandas multiespectrales) de variables inter-correlacionadas en un nuevo conjunto de datos no correlacionados llamados Componentes Principales, PC por sus siglas en inglés (Yésou et al., 1993). El procedimiento genera N componentes principales igual al número de bandas multiespectrales utilizadas en la fusión, donde el primer componente principal (PC1) captura la mayor varianza del conjunto de datos (Pohl y Van Genderen, 1998).

La imagen pancromática de alta resolución se ajusta para tener la misma varianza y media que PC1. Los resultados de la imagen ajustada reemplazan al primer componente



principal antes de realizar la transformación inversa al espacio original. La justificación para esta sustitución es que la imagen pancromática es aproximadamente igual a PC1, ya que dicho componente contiene información que es común a todas las bandas utilizadas como entrada del procedimiento de ACP, mientras que la información espectral única de cada banda esta representada en los otros componentes (Chavez et al., 1991). Se considera que esta sustitución maximiza el efecto de la banda pancromática de alta resolución en las bandas fusionadas que resultan del proceso (Shettigara, 1992).

Información más amplia acerca de la técnica ACP, aplicada a la teledetección puede ser revisada en Mather (2004), Richards y Jia (2006), Schowengerdt (2007), Gao (2009) y Chuvieco Salinero (2010).

En síntesis, el cálculo de la fusión ACP comprende los siguientes pasos (Darvishi Boloorani, 2008):

- 1.- Reescalado de las bandas multiespectrales de baja resolución a la resolución espacial de la banda pancromática.
- 2.- Aplicación del ACP a las bandas reescaladas.
- 3.- Ajuste de la banda pancromática según la media y desviación típica de PC1.
- 4.- Reemplazo de PC1 con la banda pancromática ajustada y transformación inversa para obtener las bandas multiespectrales fusionadas en alta resolución.

2.2.3 Algoritmo Gram-Schmidt (GS)

La fusión de imágenes por el método de GS (figura 2.10), al igual que el anterior, es considerado como un método de sustitución de componentes (Aiazzi et al., 2006). Fue inventado por Laben y Brover en 1998 y patentado por Eastman Kodak (Laben y Brower, 2000). Se basa en el algoritmo de *Gram-Schmidt*, un proceso de ortogonalización de vectores. Para el caso de imágenes, cada banda corresponde a un vector de alta dimensión (igual al número de píxeles de la imagen), los cuales van rotando para producir un nuevo conjunto de vectores no correlacionados (Maurer, 2013).

La ortogonalización mencionada, también conocida como transformación de Gram-Schmidt, es una técnica común en álgebra lineal y análisis multivariante, cuyo propósito es eliminar información redundante (o correlacionada), generalmente presente en bandas próximas del espectro electromagnético.

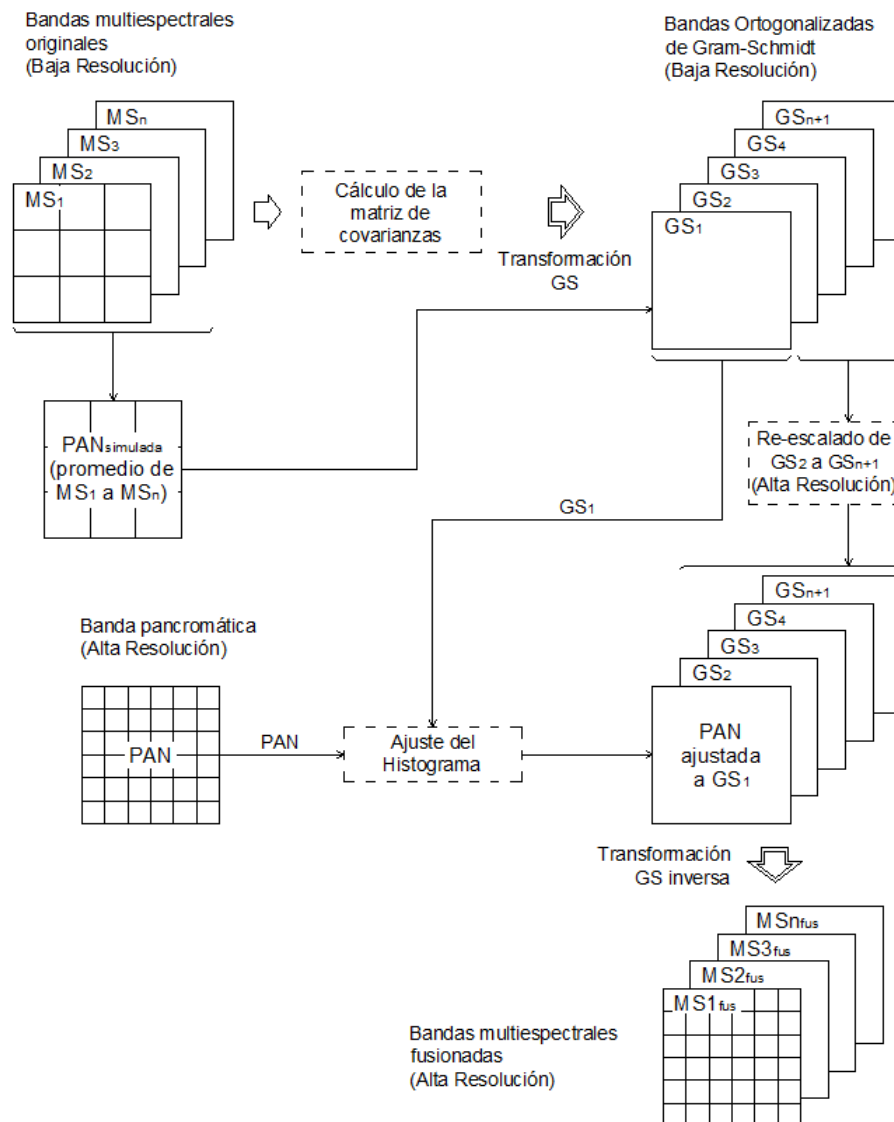


Figura 2.10: Aplicación del algoritmo de fusión de imágenes GS.

El procedimiento para realizar la fusión GS se describe a continuación (Laben y Brower, 2000):

1.- Cálculo de una banda pancromática simulada de baja resolución. Se proponen dos opciones: primero, una ponderación de acuerdo a las características propias del sensor utilizado mediante una combinación lineal de las N bandas multiespectrales utilizadas

en el proceso.

$$Pan_{simulada} = \sum_{k=1}^n (w_k * MS_k) \quad (6)$$

donde w_k es un factor de ponderación basado en parámetros de calibración del sensor y es diferente para cada banda. Y, segundo, calcular esta banda simulada de baja resolución espacial mediante un remuestreo de la banda pancromática de alta resolución.

Otros estudios (Aiazzi et al., 2007; Nussbaum y Menz, 2008; Klonus y Ehlers, 2009; Zhang y Mishra, 2012; Sarp, 2014), proponen construir esta banda simulada a partir de la media de todas las bandas multiespectrales utilizadas en la fusión (ecuación 7). Esta última opción ofrece mejores resultados visuales (Cánovas García, 2012) y es la que se ha utilizado en la implementación.

$$Pan_{simulada} = \frac{\sum_{k=1}^n MS_k}{n} \quad (7)$$

La banda pancromática simulada es ahora utilizada como una primera banda que se añade al conjunto de datos multiespectrales de baja resolución y se utiliza como entrada para la transformación de *Gram-Schmidt*.

$$GS_1(i, j) = Pan_{simulada}(i, j) \quad (8)$$

2.- Se realiza la transformación de *Gram-Schmidt*. Laben y Brower (2000), introducen una modificación: a cada píxel de la imagen que se va a transformar se le resta la media de su banda antes de realizar la rotación (ortogonalización), lo cual permite optimizar los cálculos computacionales. En la transformación de *Gram-Schmidt*, cada banda GS_T se calcula a partir de las anteriores GS_{T-1} , y se puede expresar como:

$$GS_T(i, j) = [B_T(i, j) - \mu_T] - \sum_{l=1}^{T-1} \phi(B_T, GS_l) * GS_l(i, j) \quad (9)$$

donde T es el número de banda que está siendo transformada, B es la banda multiespectral original, y μ_T es la media de la banda T . $\phi(B_T, GS_l)$ viene dado por:

$$\phi(B_T, GS_l) = \frac{\sigma(B_T, GS_l)}{\sigma(GS_l, GS_l)^2} \quad (10)$$

es decir, la covarianza entre la banda GS calculada y la banda original B , dividido entre la varianza de la banda GS.

3.- Se ajusta la banda pancromática de alta resolución, de forma que su media y desviación típica coincidan con las de GS_1 . Este ajuste ayuda a preservar las características espectrales de las bandas multiespectrales originales. El procedimiento se realiza siguiendo las ecuaciones (4) y (5).

4.- La banda pancromática ajustada reemplaza la primera banda de *Gram-Schmidt* (GS_1). Las restantes bandas transformadas se reescalan a la resolución espacial de la banda pancromática., y se realiza la transformación inversa de los datos. La ecuación que describe el proceso es:

$$B_T(i, j) = [GS_T(i, j) + \mu_T] + \sum_{l=1}^{T-1} \phi(B_T, GS_l) * GS_l(i, j) \quad (11)$$

2.3 Métodos para evaluación de la fusión de imágenes

La forma de evaluar de manera efectiva la calidad de la fusión de imágenes, ha sido un desafío entre los investigadores y usuarios de estos productos fusionados. Los enfoques en la mayoría de investigaciones y publicaciones realizadas en este sentido tienden a centrarse en dos categorías principales de evaluación (Zhang, 2008):

1. Enfoques cualitativos, que implican la comparación visual del color entre la imagen original multiespectral y las imágenes fusionadas, y el detalle espacial entre la imagen pancromática original y las imágenes fusionadas.
2. Enfoques cuantitativos, que implican un conjunto de indicadores de calidad predefinidos para medir las similitudes espectrales y espaciales entre la imagen fusionada y la imagen multiespectral original y/o imagen pancromática.



En este trabajo se han considerado estos dos enfoques de evaluación (secciones 3.2 y 3.3).

2.3.1 Evaluación cualitativa

Se realizará una comparación visual entre las imágenes originales y fusionadas. Aunque existen diferentes criterios dentro del análisis visual (European Commision, 1997), esta investigación toma en cuenta criterios espectrales y criterios espaciales¹⁰. Como criterios espectrales se ha observado:

- Brillo: juzga las diferencias perceptibles de intensidad de un determinado color entre la imagen original y la fusionada.
- Colores anómalos: toma en cuenta variaciones de color entre una y otra imagen comparada.

Como criterios espaciales se ha considerado:

- Nitidez en los bordes: observa la calidad de la definición en las zonas de frontera de un determinado cuerpo u objeto presente en la imagen.
- Texturas de objetos: valora la heterogeneidad o contraste espacial entre los elementos de la imagen fusionada respecto a esta característica en la imagen original.
- Texturas veteadas: considera la presencia de pequeñas distorsiones alargadas en forma de vetas que podrían presentarse debido a la aplicación de los algoritmos de fusión.

2.3.2 Evaluación cuantitativa

El segundo enfoque de evaluación ha sido llevado a cabo mediante la implementación de dos algoritmos para una evaluación cuantitativa de las imágenes fusionadas: el Índice universal de calidad de imagen y el Índice ERGAS, los mismos que se describen a continuación¹¹.

10 Una ampliación de estos conceptos se puede revisar en Chuvieco Salinero (2010) y Paine y Kiser (2012).

11 Una perspectiva general de diferentes métodos para la evaluación cuantitativa de la fusión de

2.3.2.1 Índice universal de calidad de la imagen (Índice Q)

El índice Q, permite realizar una valoración cuantitativa de la calidad de las imágenes fusionadas respecto a las imágenes multiespectrales originales, calculando las distorsiones producidas. Se expresa como una combinación de tres factores (Wang y Bovik, 2002):

$$Q = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2 \bar{x} \bar{y}}{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \cdot \frac{2 \sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (12)$$

donde x y y representan las imágenes originales y fusionadas, respectivamente, y los parámetros estadísticos vienen dados por:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, & \bar{y} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \\ \sigma_x^2 &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2, & \sigma_y^2 &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \\ \sigma_{xy} &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \end{aligned} \quad (13)$$

El primer factor en la ecuación (12) expresa la pérdida de correlación, con un rango de -1 a 1, mide al grado de ajuste lineal entre las dos imágenes. El segundo factor compara las medias de las dos imágenes calculando la distorsión radiométrica, su valor oscila entre 0 y 1. El tercer factor considera la distorsión del contraste calculando la varianza de las dos imágenes, el valor oscila entre 0 y 1 (Nussbaum y Menz, 2008). El rango dinámico de Q es [-1,1]. El mejor valor es 1, el mismo que se daría si las dos imágenes son idénticas.

El índice Q, aunque inicialmente fue propuesto para otras aplicaciones como la compresión de imágenes, es importante en fusión de imágenes para comprobar que no se ha producido una alteración significativa de los valores radiométricos originales (Cánovas García, 2012).

Como un paso previo para la aplicación de esta metodología se debe realizar un

imágenes puede ser consultada en Li et al. (2010).

reescalado de las bandas fusionadas para que tengan la misma resolución espacial de las bandas originales de baja resolución (Nussbaum y Menz, 2008). Este paso previo, debe ser realizado para compatibilizar la resolución espacial de las imágenes a evaluar y posibilitar la aplicación de la formulación establecida (ecuaciones 12 y 13). Sin embargo, podría analizarse la pertinencia de reescalar las bandas multiespectrales originales a la resolución espacial de las bandas fusionadas, lo cual permitiría una comparación efectiva de las distorsiones obtenidas en las imagen fusionada.

2.3.2.2 Índice ERGAS (erreur relative globale adimensionnelle de synthèse)

El índice ERGAS es utilizado para comparar la calidad espectral de las imágenes fusionadas. Fue propuesto por Wald (2000) y busca satisfacer tres requerimientos principales:

- 1.- Ser independiente de las unidades, es decir, valores de radiancia o cantidades sin unidades.
- 2.- Ser independiente del número de bandas consideradas en la fusión.
- 3.- Ser independiente del ratio dado entre las imágenes de alta y baja resolución espacial.

La expresión para el cálculo de este índice viene dado por:

$$ERGAS_{espectral} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N_{bandas}} \sum_{i=1}^{N_{bandas}} \left[\frac{(RMSE_{espectral}(Banda_i))^2}{(MULTI_i)^2} \right]} \quad (14)$$

donde h y l representan la resolución espacial de las imágenes pancromática y multiespectrales, respectivamente; N_{bandas} es el número de bandas multiespectrales, $MULTI_i$ es el valor medio de la radiancia espectral de la banda i -ésima y $RMSE_{espectral}$ es el error de la raíz cuadrada de la media (*Root Mean Square Error*), definido como:

$$RMSE_{espectral}(Banda_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{NP} (MULTI_i(j) - FUS_i(j))^2}{NP}} \quad (15)$$

siendo NP el número de píxeles de la imagen evaluada, y $MULTI_i$ y FUS_i las imágenes multispectrales originales y fusionadas, respectivamente.

El valor de ERGAS muestra una fuerte tendencia a decrecer cuando se incrementa la calidad del producto fusionado. Valores menores que 3, refieren una buena calidad de la fusión (Wald, 2000; Ozdarici y Akyurek, 2011), tanto mejor cuanto se acerca a cero.

Para el cálculo de este índice, las bandas multispectrales originales son reescaladas a la resolución espacial de las bandas fusionadas.

Dado que el índice ERGAS solamente considera las características espectrales de la imagen, Lillo-Saavedra et al. (2005) proponen un nuevo índice espacial, denominado índice ERGAS espacial (16), introduciendo un RMSE espacial, definido mediante la ecuación (17):

$$ERGAS_{espacial} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N_{bandas}} \sum_{i=1}^{N_{bandas}} \left[\frac{(RMSE_{espacial}(Banda_i))^2}{(PAN_i)^2} \right]} \quad (16)$$

$$RMSE_{espacial}(Banda_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{NP} (PAN_i(j) - FUS_i(j))^2}{NP}} \quad (17)$$

donde PAN_i es la imagen obtenida al ajustar el histograma de la imagen pancromática original al histograma de la banda i -ésima de la imagen multispectral (Gonzalo y Lillo-Saavedra, 2005).



CAPÍTULO 3

Resultados y discusión

En este capítulo se comparan los tres métodos de fusión de imágenes (*High Pass Filter*, Análisis de Componentes Principales y *Gram-Schmidt*), mediante un análisis cualitativo basado en una comparación visual de los resultados (sección 3.2). Además, las imágenes fusionadas son evaluadas mediante dos índices (Índice universal de calidad de la imagen e Índice ERGAS), bastante adoptados en la literatura de la teledetección y fusión de imágenes (sección 3.3). Finalmente, se realiza una comparación de los resultados de la fusión obtenidos en GRASS y los obtenidos en software privativo (sección 3.4). Pero antes, se revisarán aquellos puntos en los cuales es necesario algún comentario que se desprende de la elaboración de los *scripts*.

3.1 Scripts

Los *scripts* han sido contruidos siguiendo el esquema típico de los módulos de GRASS. Se introduce el nombre del *script* y a continuación los parámetros que guiarán la ejecución del mismo. Parámetros imprescindibles no introducidos o entradas ilegales, arrojan mensajes de advertencia y abortan el proceso.

Los *scripts* de fusión comparten cinco parámetros comunes:

- grupo: es el nombre del grupo que el usuario ha creado para agrupar las imágenes multiespectrales que se van a fusionar. El comando GRASS para esta operación es *i.group* (Neteler y Mitasova, 2008).
- pan: es el nombre de la imagen pancromática que se utilizará en la fusión.
- method: permite al usuario escoger entre los métodos de interpolación para el remuestreo (*nearest*, *bilinear*, *bicubic*). Shridhar y Alvarinho (2013), concluyen que no existen variaciones visuales significativas derivadas de usar estos tres métodos, aunque sí han encontrado diferencias al momento de realizar una evaluación cuantitativa. En

este trabajo, para todos los casos, se ha utilizado la opción *bilinear*.

- *r_radio*: corresponde a la resolución radiométrica en *bits*, de la imagen multiespectral de entrada.

- *modo*: este parámetro se ha introducido con fines de investigación. Permite al usuario preservar o no los archivos auxiliares (imágenes, archivos de texto, etc.) creados en el proceso.

Como ejemplo, se presenta una captura de pantalla del encabezado de uno de los métodos de fusión implementados (figura 3.1).

```
*****
FUSIÓN DE IMÁGENES POR EL MÉTODO HIGH PASS FILTER
*****
Descripción:
Script para fusión de capas multiespectrales (agrupadas con i.group) de baja resolución con una capa pancromática de alta resolución.

Uso:
sh fusion_hpf_vxx.sh grupo=name pan=name method=string sd_w=value r_radio=value modo=value

Parámetros:
grupo  Nombre del grupo de bandas multiespectrales creado con i.group
pan    Nombre de la banda pancromática
method Método de remuestreo
       opciones: nearest,bilinear,bicubic
       preestablecido: bilinear
sd_w   Fórmula de cálculo del factor de ponderación W utilizado en el método HPF
       opciones: 1,2
       1: En la fórmula utilizar la desviación estandar de las Imágenes multiespectrales originales
       2: En la fórmula utilizar la desviación estandar de las Imágenes multiespectrales remuestreadas
       preestablecido: 2
r_radio Resolución radiométrica (bits) de las imágenes multiespectrales
modo   Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso
       opciones: 1,2
       1: El script corre en modo normal (al final del script se borran archivos auxiliares creados en el proceso)
       2: El script corre en modo prototipo (se preservan los archivos y mapas auxiliares creados en el proceso)
       preestablecido: 1

Nota:
Los nombres de las bandas no deben contener puntos ni guión medio

GRASS 7.0.1 (fusion_wgs):~/tesis > █
```

Figura 3.1: Encabezado cuando se ejecuta el *script* HPF.

Los *scripts* de índices de evaluación cuantitativa requieren el ingreso de los dos conjuntos de imágenes (originales y fusionadas), agrupados con el comando *i.group*. Además, un nombre para el archivo de salida (*output*) y el parámetro *modo* que ya se ha descrito anteriormente.

El texto completo de los *scripts* puede revisarse en el Anexo 1.

3.1.1 Script HPF

Como se ha anotado en la sección 2.2.1, la metodología adoptada para la elaboración de este *script* ha sido la propuesta por Gangkofner et al. (2008) e implementada en ERDAS



IMAGINE (2011). Sin embargo, en esta metodología se indica que para el cálculo del factor de ponderación W , ecuación (2), se utilizará la desviación típica de la banda multiespectral que está siendo fusionada. Así, no se especifica si corresponde a la desviación típica de la banda multiespectral original o de la banda remuestreada. Por tal motivo, el *script* incluye un parámetro que permita elegir la opción deseada. Luego de correr el *script* con ambas opciones, se ha visto que mejores resultados tiende a presentar la segunda opción, y es la que se ha utilizado para el análisis comparativo con los otros métodos de fusión.

3.1.2 Script ACP

Este *script* realiza la transformación de Análisis de Componentes Principales, que comprende el cálculo de la matriz de covarianzas y la matriz de eigenvectores (Pohl y Van Genderen, 1998). Dado que el módulo *i.pca* de GRASS proporciona, juntamente con los Componentes Principales (CP), la matriz de eigenvectores, se optó por utilizar esta matriz para calcular desde el *script* los CP. Al aplicar la fusión se observó que, en algunos casos, los resultados eran inconsistentes, por lo cual, se calculó la matriz de eigenvectores desde otros programas (ENVI y ERDAS), observándose que los valores de ciertos eigenvectores diferían en el signo manteniendo los mismos valores absolutos. Por tal motivo, se introdujo al *script* un parámetro de entrada (*matrix*) para utilizar ya sea la matriz de eigenvectores generada por el módulo *i.pca* de GRASS o un archivo que contenga la matriz generada a partir de otro programa. Dicho archivo debe ser preparado por el usuario con un formato de texto plano, con cada eigenvector en una línea diferente (con su orden correspondiente: 1, 2,..., n); y, cada valor dentro del eigenvector separado por un espacio.

Para los análisis correspondientes, en el caso de la fusión ACP, se ha utilizado la matriz de eigenvectores de GRASS.

3.1.3 Script GS

Como ya se ha anotado en el apartado 2.2.3, el cálculo de la banda pancromática simulada ha sido calculada en el *script* como el promedio de todas las bandas multiespectrales utilizadas en la fusión (ecuación 7). El procedimiento matemático para



realizar la transformación *Gram-Schmidt* puede ser consultado en Clayton (1971) y Farebrother (1974).

3.1.4 Script Índice universal de calidad de imagen

Este *script* no reviste ninguna observación especial.

3.1.5 Script Índice ERGAS

Este *script* tampoco reviste mayores observaciones, salvo la particularidad que la mayoría de literatura consultada para esta metodología yerra en la formulación del Error de la Raíz Cuadrada de la Media (RMSE), sacando el denominador fuera del radical (ecuaciones 15 y 17).

3.2 Evaluación cualitativa

Como se ha expuesto en la sección 2.3.1, la evaluación cualitativa consiste en una comparación visual entre las imágenes originales y fusionadas, atendiendo a diferentes criterios analizados. De todas formas, es preciso señalar que este tipo de evaluación puede contener un factor subjetivo que hace difícil su replicabilidad.

Por otra parte, los resultados de la evaluación cualitativa pueden verse afectados por el tipo de monitor utilizado y las condiciones de visualización de las imágenes. Diferencia en la apariencia no necesariamente implica aspectos relacionados a la calidad de la fusión (Zhang, 2008).

Se han elaborado diez mosaicos (figuras 3.2 a 3.11), dos por cada imagen (plataforma) empleada. Cada uno contiene un recorte de la imagen completa en sus versiones original, fusión HPF, fusión ACP y fusión GS. A partir de estos mosaicos se ha realizado una evaluación cualitativa que se resume en la tabla 3.1.

Las imágenes utilizadas en los mosaicos corresponden a composiciones de color de tres bandas, que se combinan asignando a cada uno de los canales (R G B) de los monitores



y tarjetas de video, una banda en particular (Alonso Sarría, 2006). Se han utilizado dos composiciones de color: color natural (R-G-B) y falso color (NIR-R-G), las mismas que han permitido discriminar en mejor manera las diferentes coberturas. La composición en cada caso se indica en la tabla 3.1.

Previamente, a cada banda multispectral original y fusionada se ha aplicado una tabla de color (CLUT) basada en una escala de grises. La tabla de color *grey*, disponible en GRASS, interpola linealmente todos los niveles digitales en una escala de grises del negro (ND = 0) al blanco (ND = 255) (Neteler y Mitsova, 2008). Sin embargo, esta interpolación tiende a presentar las imágenes con un bajo contraste debido a las características del histograma y a la eventual presencia de valores extremos y/o anómalos que influyen en la visualización (Chuvieco Salinero, 2010). Por tal motivo, en el presente trabajo se ha elaborado un *script* (sección Anexos) para asignar una tabla de color a un mapa raster (o grupo), mediante un ajuste lineal del histograma(s) respectivo entre percentiles mínimo y máximo, ingresados por el usuario. Para la visualización de las imágenes empleadas en esta investigación se ha utilizado este *script* con percentiles del 0,5 y 99,5 % para todas las bandas.

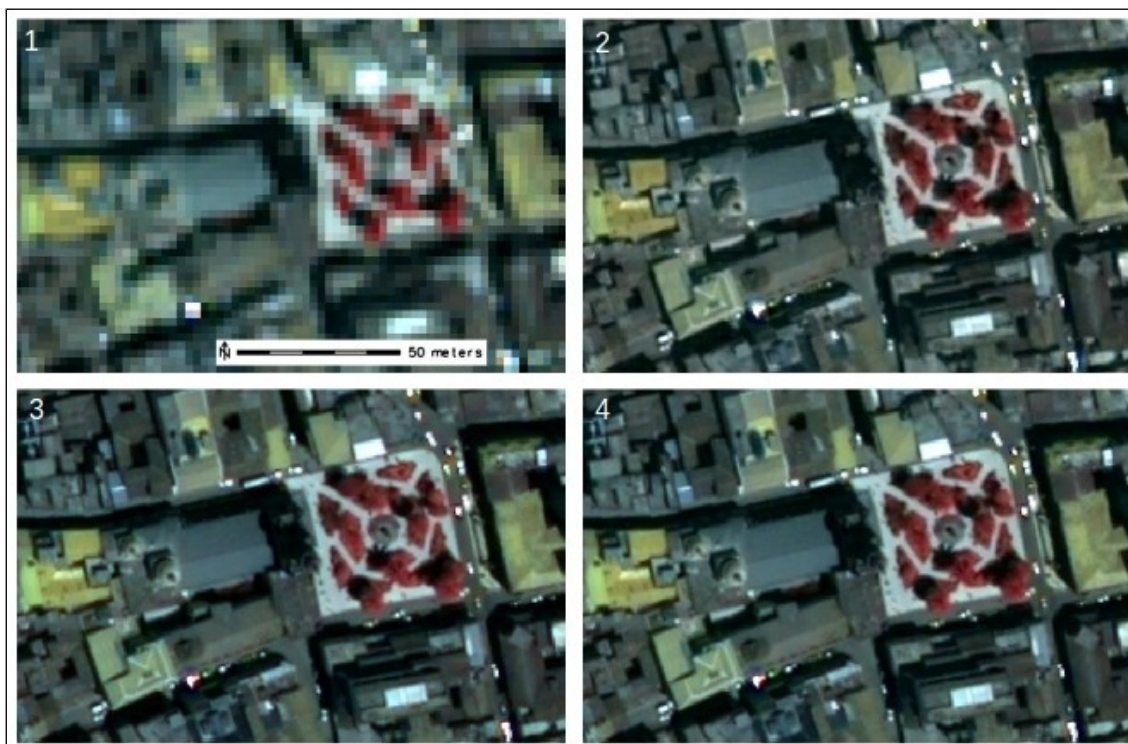


Figura 3.2: Recorte de la imagen QuickBird, Catedral de Azogues y Parque del Trabajo; original y fusionadas. Imagen original (1); fusión con HPF (2); fusión con ACP (3) y fusión con GS (4).

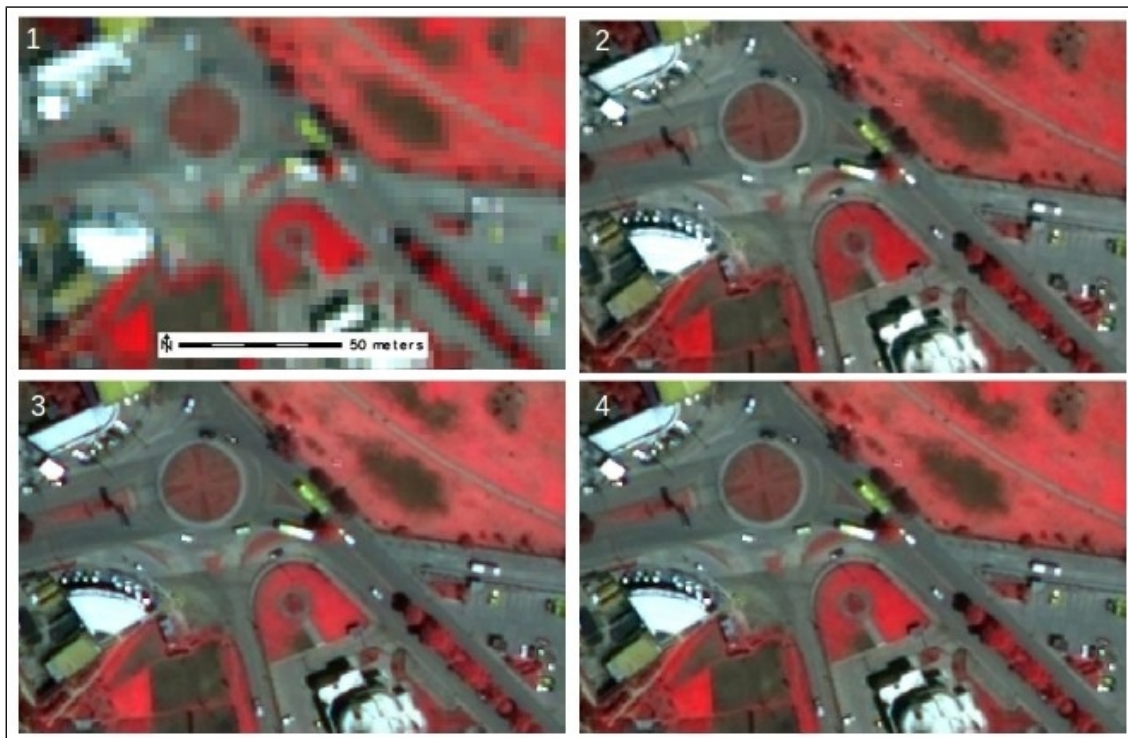


Figura 3.3: Recorte de la imagen QuickBird, Redondel de acceso de la autopista al Terminal Terrestre de Azogues; original y fusionadas. Imagen original (1); fusión con HPF (2); fusión con ACP (3) y fusión con GS (4).

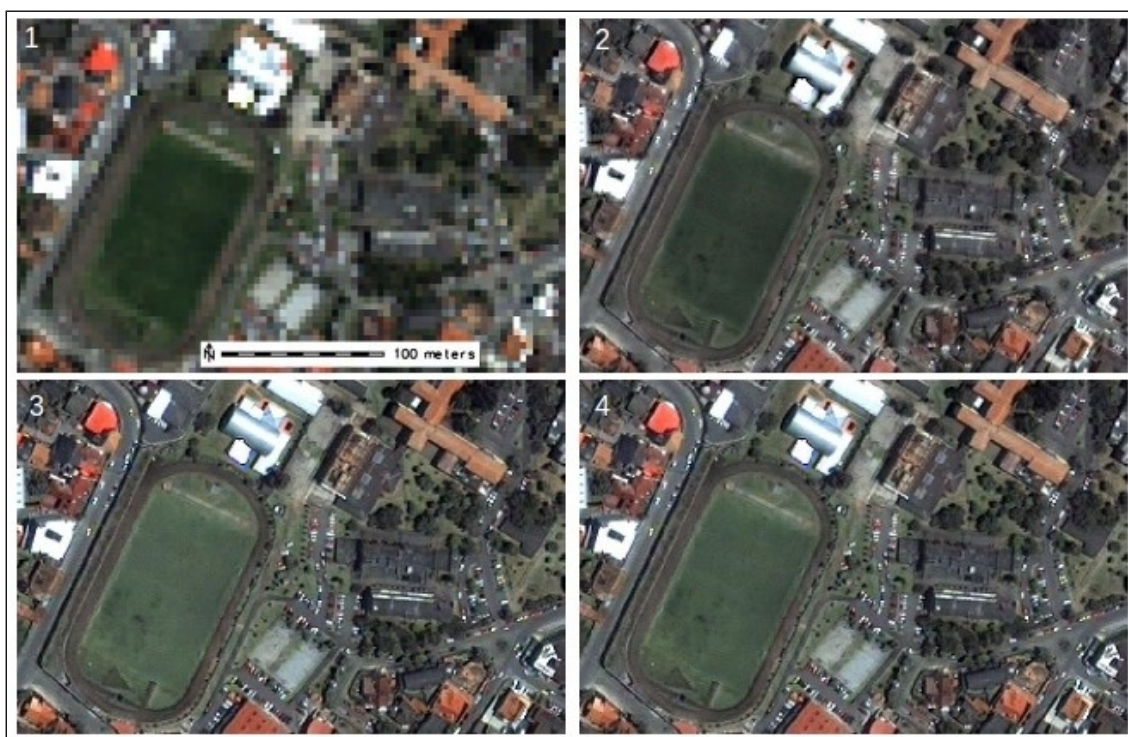


Figura 3.4: Recorte de la imagen IKONOS, campus universitario de la Universidad de Cuenca; original y fusionadas. Imagen original (1); fusión con HPF (2); fusión con ACP (3) y fusión con GS (4).

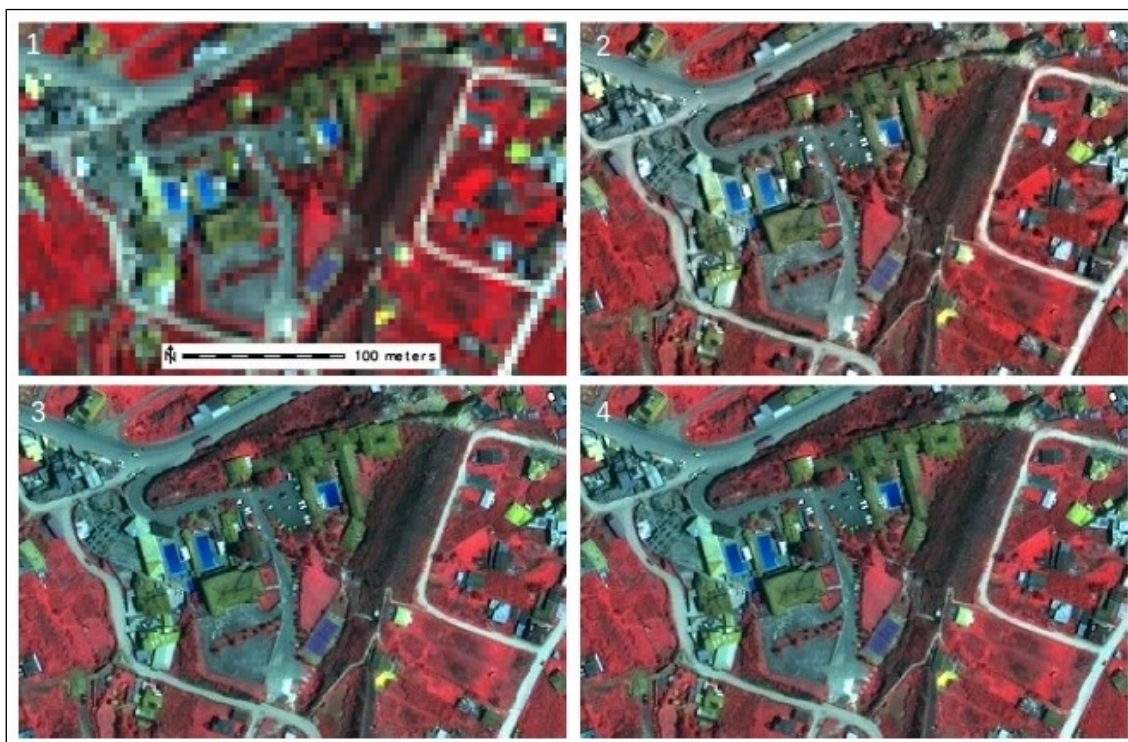


Figura 3.5: Recorte de la imagen IKONOS, Piscinas de aguas termales Baños-Cuenca; original y fusionadas. Imagen original (1); fusión con HPF (2); fusión con ACP (3) y fusión con GS (4).

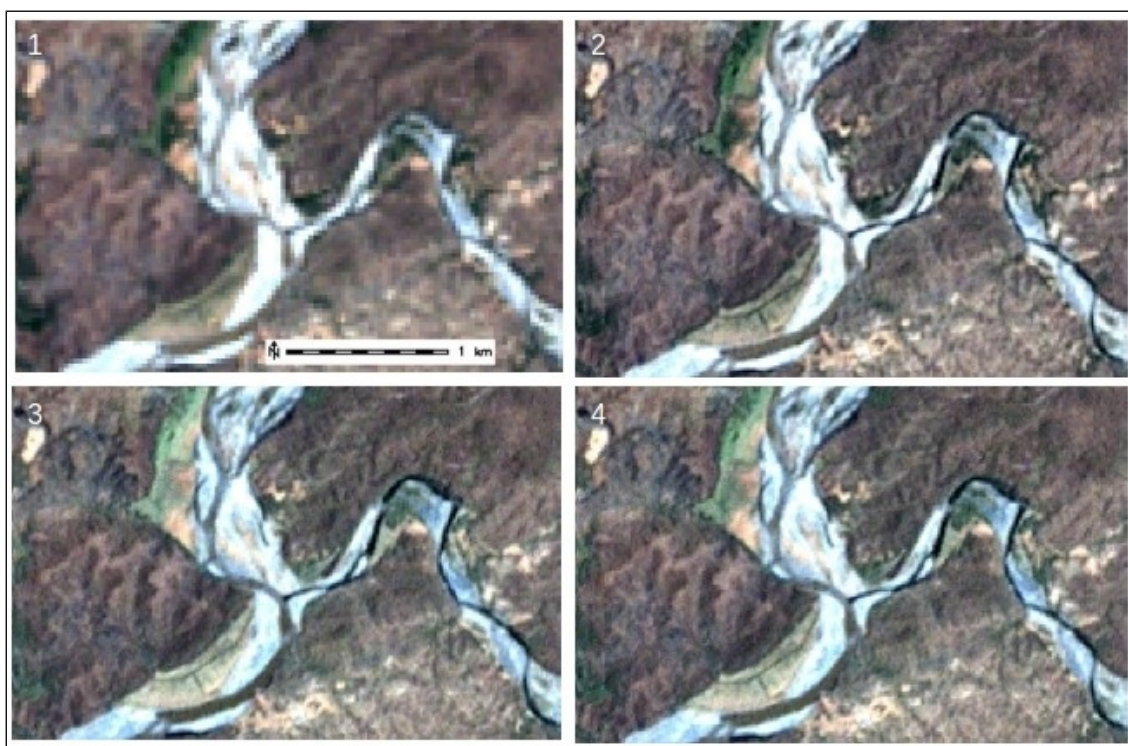


Figura 3.6: Recorte de la imagen Landsat 7, segmento del río internacional Chira con uno de sus afluentes, 10 km aguas abajo de Zapotillo; original y fusionadas. Imagen original (1); fusión con HPF (2); fusión con ACP (3) y fusión con GS (4).

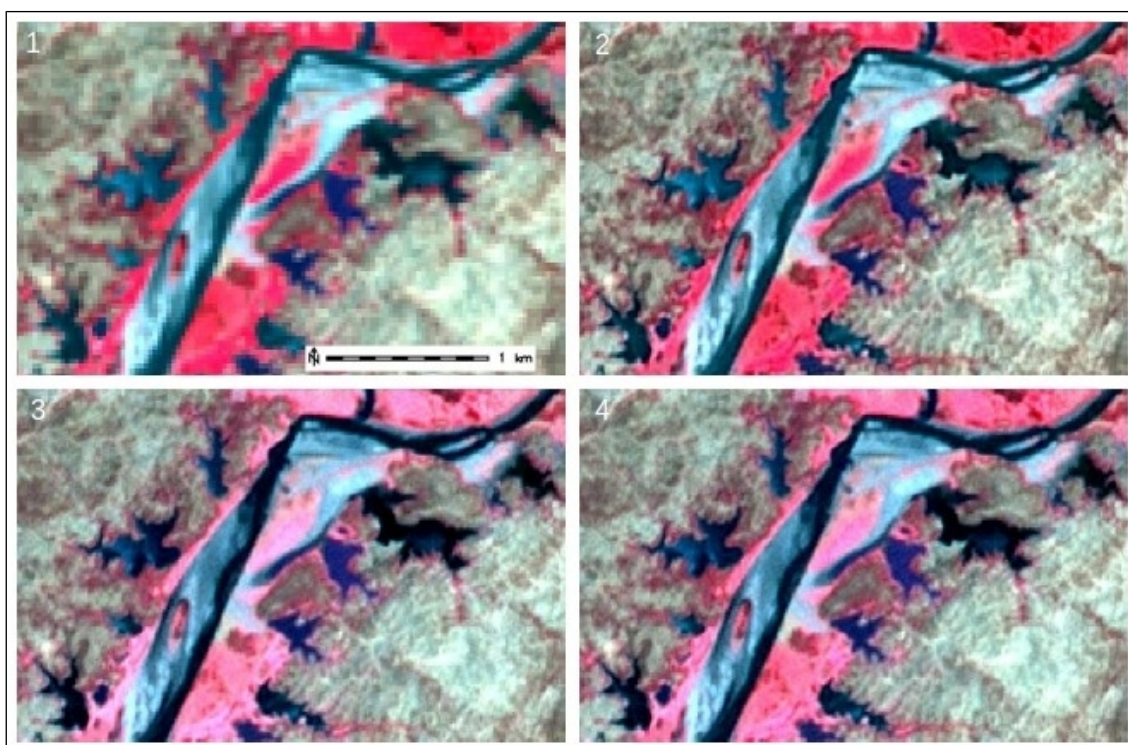


Figura 3.7: Recorte de la imagen Landsat 7, tramo de la cola del embalse Poechos-Perú; original y fusionadas. Imagen original (1); fusión con HPF (2); fusión con ACP (3) y fusión con GS (4).

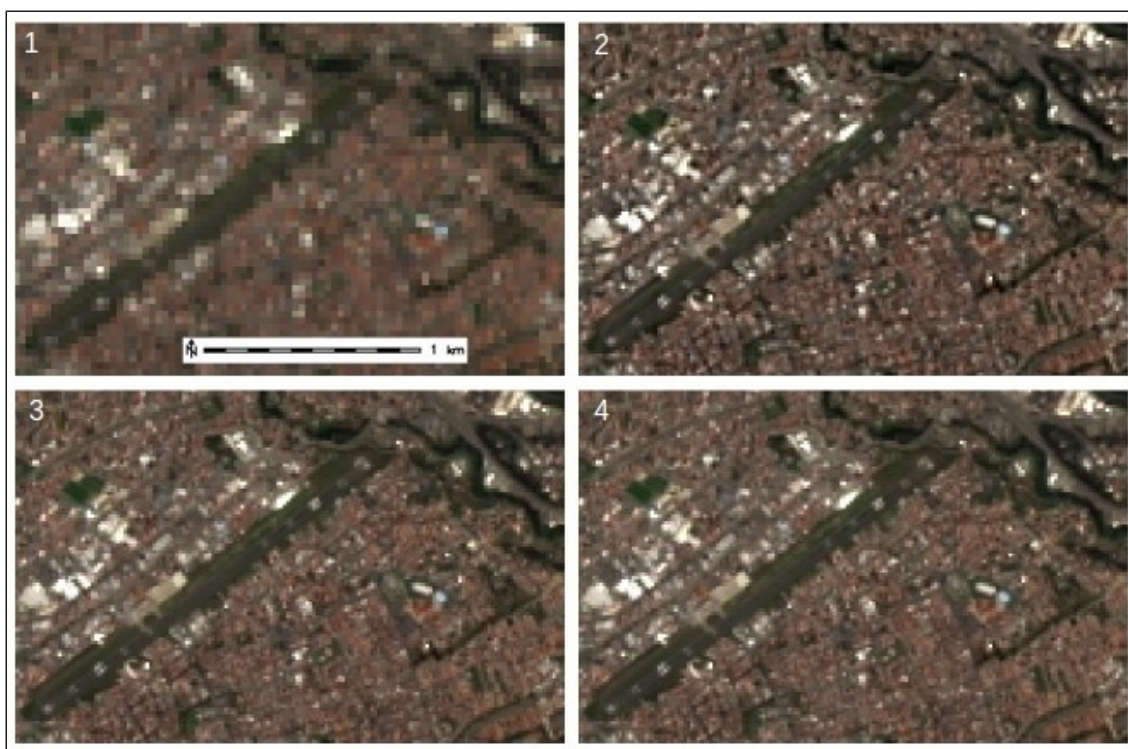


Figura 3.8: Recorte de la imagen Landsat 8, aeropuerto Mariscal La Mar Cuenca-Ecuador; original y fusionadas. Imagen original (1); fusión con HPF (2); fusión con ACP (3) y fusión con GS (4).

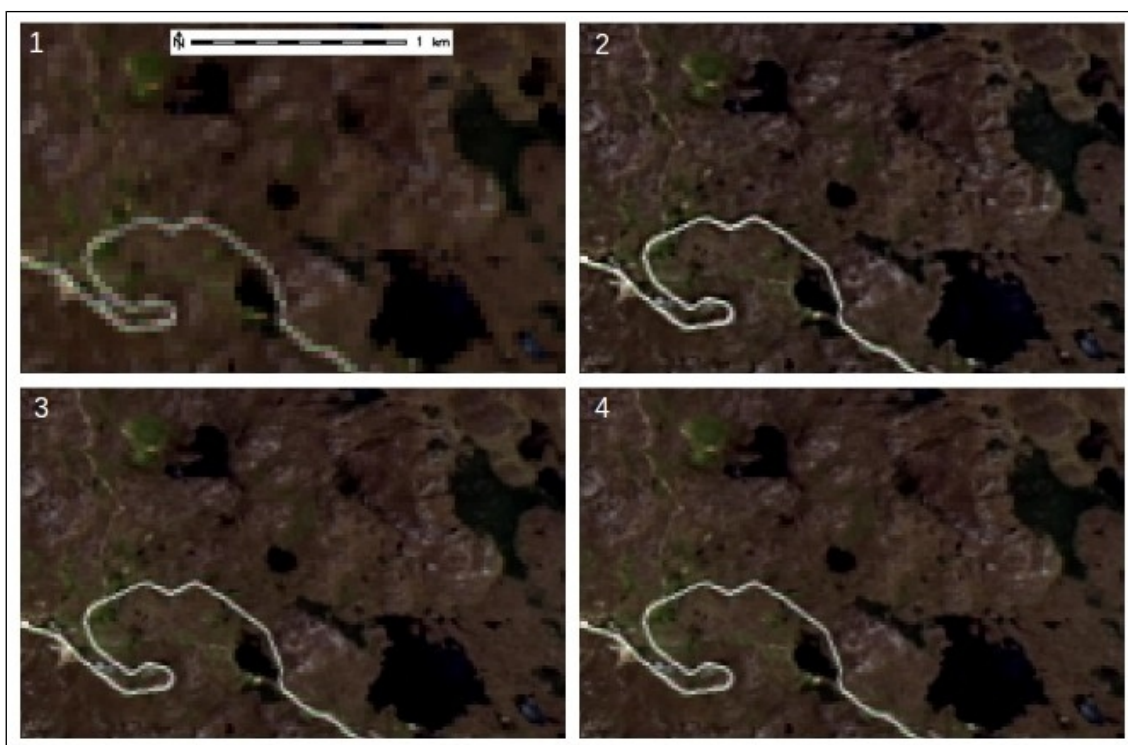


Figura 3.9: Recorte de la imagen Landsat 8, Parque Nacional Cajas, laguna Toreadora y tramo de vía Cuenca-Guayaquil; original y fusionadas. Imagen original (1); fusión con HPF (2); fusión con ACP (3) y fusión con GS (4).

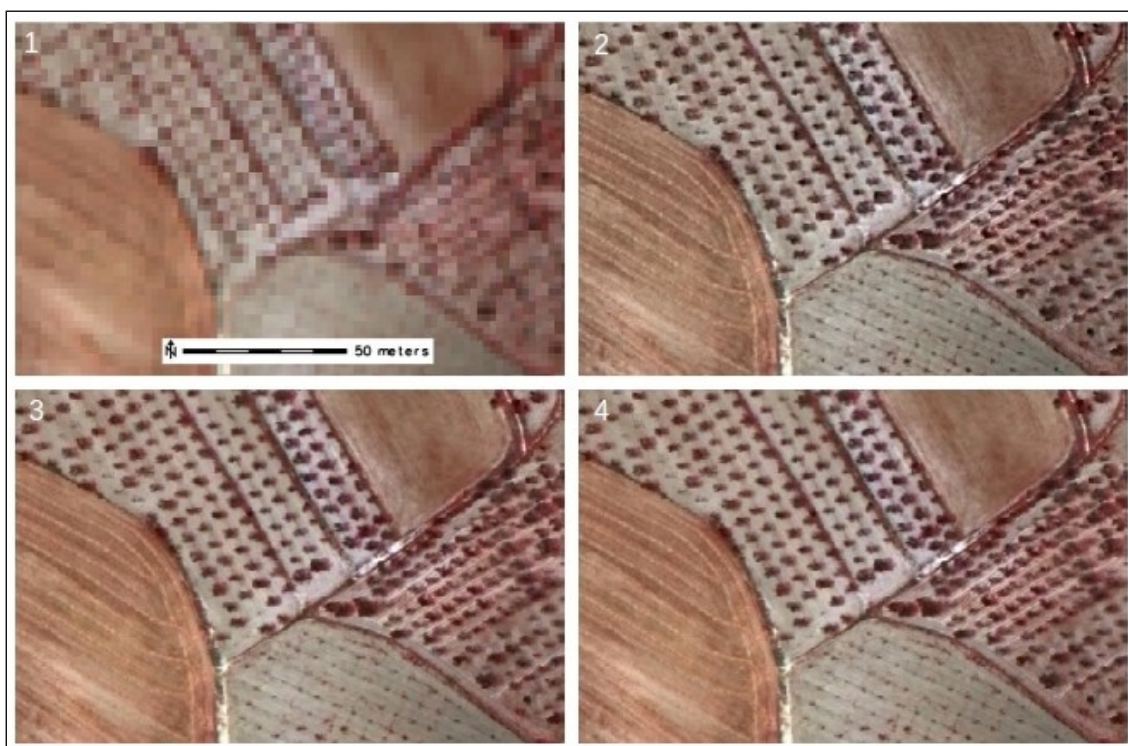


Figura 3.10: Recorte de la imagen Natmur-08, parcelas de labor Archivel-Caravaca de la Cruz-Murcia-España; original y fusionadas. Imagen original (1); fusión con HPF (2); fusión con ACP (3) y fusión con GS (4).

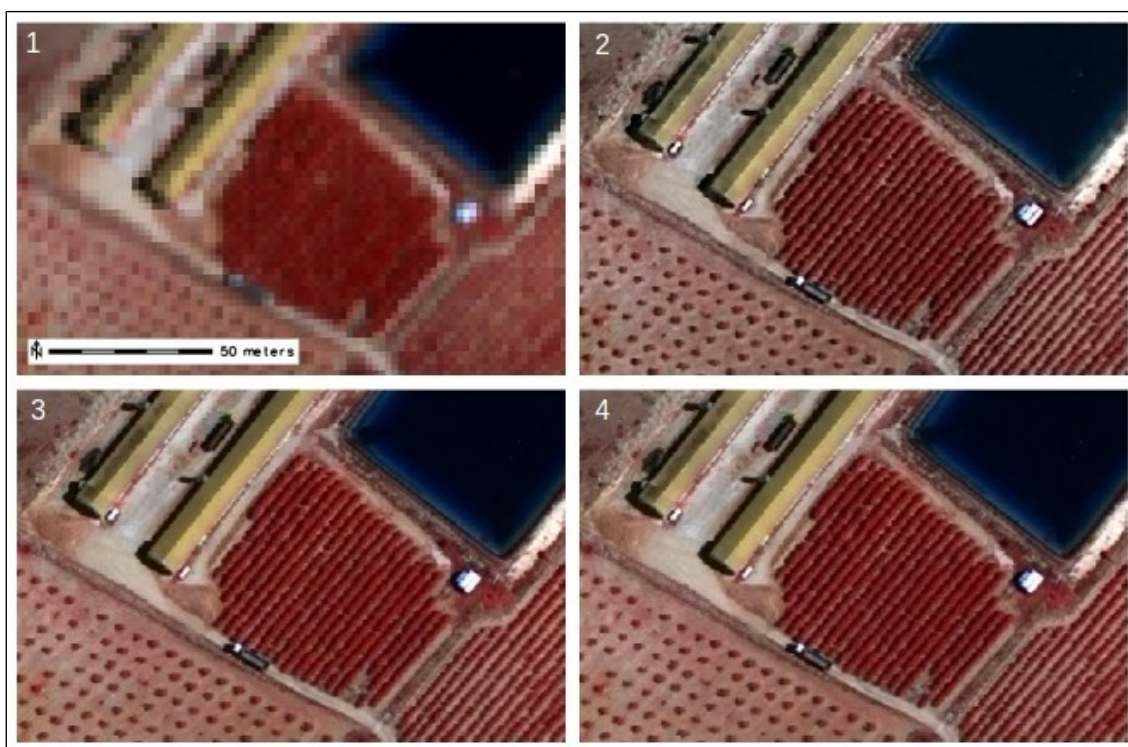


Figura 3.11: Recorte de la imagen Natmur-08, parcelas de labor y galpones Archivel-Caravaca de la Cruz-Murcia-España; original y fusionadas. Imagen original (1); fusión con HPF (2); fusión con ACP (3) y fusión con GS (4).



Como se observa en las figuras que anteceden (figuras 3.2 a 3.11), todas las imágenes fusionadas muestran una mejora importante de cara a una interpretación visual. Los resultados expuestos en la tabla 3.1 indican una valoración más alta en las imágenes con mayor ratio espacial entre la resolución multiespectral y pancromática (Imágenes QuickBird e IKONOS con ratio 4 y Natmur-08 con ratio 4.4). No obstante, como se verá en la sección 3.3, son precisamente estas imágenes las que presentan una menor valoración cuantitativa en relación con las imágenes Landsat 7 y Landsat 8, ambas con ratio igual a dos.

Una valoración alta a nivel visual de la imágenes con ratio entre 4 y 4.4 podría explicarse, en parte, debido a la percepción visual del grado de mejora en las imágenes fusionadas, tanto mayor mientras aumenta el ratio espacial. Aquello, sin embargo, plantea la pregunta acerca de hasta cuánto es confiable la fusión entre imágenes multiespectrales y pancromáticas con un ratio espacial mayor (la presente investigación ha utilizado imágenes con $\text{ratio} \leq 4.4$). Kumar et al. (2014), advierten que aunque las matemáticas de los algoritmos seguirán operando con precisión, ratios mayores a tres producirán una disminución progresiva de la calidad de las imágenes fusionadas. Darvishi Bolorani et al. (2005), indican que procesos de fusión de imágenes con un ratio espacial hasta siete, todavía ofrecen resultados confiables. Otros estudios (Zhang, 2002; Gangkofner *et al.*, 2008; Yuhendra y Sri Sumantyo, 2010), refieren buenos resultados para ratios iguales o mayores a cuatro, según las imágenes (plataformas) empleadas y la metodología de fusión utilizada.

En términos espectrales, de las cinco imágenes utilizadas, las imágenes Landsat 7 y Landsat 8, muestran una mayor distorsión del color con los tres métodos de fusión; aunque en el caso de la imagen Landsat 7, con la fusión HPF dicha distorsión es menor (figuras 3.6 y 3.7); y, lo propio para la imagen Landsat 8, con la fusión GS (figuras 3.8 y 3.9).

En las imágenes provenientes de las plataformas QuickBird, IKONOS y del proyecto Natmur-08, la valoración cualitativa es más alta, sobresaliendo levemente las calificaciones para los algoritmos HPF y GS, tanto en términos espectrales como en términos espaciales.

La tabla 3.1 presenta una valoración cualitativa de las imágenes fusionadas. Se ha establecido una escala del uno al cinco para tal efecto, asignando los valores (1)=muy malo; (2)=malo; (3)=aceptable; (4)=bueno; y, (5)=muy bueno.

Tabla 3.1: Valoración cualitativa según algunos criterios de interpretación visual en las figuras 3.2 a 3.11: 1=muy malo; 2=malo; 3=aceptable; 4=bueno; 5=muy bueno.

Imagen	Ratio espacial (multiespectral y pancromática)	Composición de color	Criterio de interpretación	Método de fusión		
				HPF	ACP	GS
Criterios espectrales						
QuickBird	4	NIR-R-G	Figura 3.2	5	4	5
		NIR-R-G	Figura 3.3	5	4	4
IKONOS	4	R-G-B	Figura 3.4	5	4	5
		NIR-R-G	Figura 3.5	5	5	5
Landsat 7	2	R-G-B	Figura 3.6	4	3	3
		NIR-R-G	Figura 3.7	5	4	4
Landsat 8	2	R-G-B	Figura 3.8	4	4	5
		R-G-B	Figura 3.9	4	4	5
Natmur08	4.4	NIR-R-G	Figura 3.10	5	4	5
		NIR-R-G	Figura 3.11	5	4	5
Criterios espaciales						
QuickBird	4	NIR-R-G	Figura 3.2	5	5	5
		NIR-R-G	Figura 3.3	5	4	5
IKONOS	4	R-G-B	Figura 3.4	5	5	5
		NIR-R-G	Figura 3.5	4	5	5
Landsat 7	2	R-G-B	Figura 3.6	4	4	4
		NIR-R-G	Figura 3.7	4	4	4
Landsat 8	2	R-G-B	Figura 3.8	5	5	5
		R-G-B	Figura 3.9	5	5	5
Natmur08	4.4	NIR-R-G	Figura 3.10	5	5	5
		NIR-R-G	Figura 3.11	5	5	5

3.3 Evaluación cuantitativa

La evaluación cuantitativa ofrece buenos resultados para los tres métodos de fusión. Los índices utilizados son: Índice universal de calidad de imagen e Índice ERGAS (espectral y espacial). Como se ha anotado en la sección 2.3.2.1, el Índice Q resume tres factores: la pérdida de correlación, las medias de las dos imágenes y la distorsión del contraste.



Por otra parte, el índice ERGAS espectral resume en un solo valor las características espectrales, mientras que el índice ERGAS espacial hace lo propio con las características espaciales (sección 2.3.2.2).

El análisis de los resultados (tabla 3.2), muestra en primera instancia una correlación entre el Índice Q y el índice ERGAS espectral. Esta característica no siempre está presente en investigaciones relacionadas con la evaluación de imágenes fusionadas. Algunos estudios refieren importantes desacuerdos al utilizar diferentes índices para una evaluación cuantitativa de la calidad de la fusión (Alparone *et al.*, 2007; Zhang, 2008). Esto muestra la dificultad de obtener criterios únicos entre los investigadores de fusión de imágenes, algo que ya ha sido advertido en estudios previos (Wald *et al.*, 1997; Mishra y Zhang, 2013).

Como se ha dicho, la aplicación de los *scripts* de índices implementados en esta investigación, arrojan una mejor calificación espectral (índices Q y ERGAS espectral) a la fusión HPF en las imágenes QuickBird, IKONOS y Landsat 7, seguido de la fusión GS. Mientras, en el caso de las imágenes Landsat 8 y Natmur-08, los resultados son mucho más parejos. Cabe señalar que en algunos casos, los valores tienen muy pequeñas variaciones, por lo cual se ha considerado oportuno evidenciar los mismos hasta el tercer decimal. Esto indica que los resultados de la evaluación en términos espectrales, no pueden ser determinantes para el caso de las imágenes Landsat 8 y Natmur-08, utilizadas en esta investigación. Algunos estudios, llegan a ser más concluyentes en cuanto a señalar el método de fusión más adecuado, pero a la vez dichas investigaciones concentran su análisis en un determinado tipo de imagen (plataforma) empleada (Chavez *et al.*, 1991; Nikolakopoulos, 2008), frente a los cinco tipos distintos de imágenes utilizadas en esta investigación.

En cuanto al Índice ERGAS espacial, la fusión ACP presenta una mejor calificación para las imágenes QuickBird, IKONOS, Landsat 7 y Natmur-08, seguida de cerca por la fusión GS. Solamente en el caso de la imagen Landsat 8, la fusión GS presenta la mejor valoración.

Con respecto a las menores calificaciones, comparativamente hablando, obtenidas para las imágenes QuickBird e IKONOS con el índice ERGAS espacial en los tres métodos



de fusión, es interesante notar que estas dos plataformas están entre las de mayor ratio espacial de la presente investigación; y además, presentan una importante proporción de cobertura urbana, consideraciones que Xu et al. (2014) advierten como propicias para posibles disminuciones en la calidad de la fusión. Esto sugiere la importancia de tener un buen entendimiento de los principios implicados en los distintos métodos de fusión de imágenes, así como un buen conocimiento de las características de los datos que van a integrarse en los procesos de fusión (Švab y Oštir, 2006).

Por otra parte, es interesante anotar que mientras en la evaluación de componentes espectrales, la fusión HPF tiende a presentar mejores resultados y la fusión ACP los peores, en cuanto a los componentes espaciales sucede exactamente lo contrario. Situación similar puede observarse en la investigación de Lillo-Saavedra et al. (2005).

También se ha incluido en la tabla 3.2 el cómputo de un promedio entre los Índices ERGAS espectral y espacial, presentado en algunas investigaciones de evaluación de fusión de imágenes (Lillo-Saavedra et al., 2005; Gonzalo y Lillo-Saavedra, 2005). Como se observa, este valor arroja diferentes resultados según la imagen empleada, aunque la fusión GS, con este índice, tiende a presentar mejores resultados.

Un aspecto a resaltar es que, en términos de plataformas empleadas, las imágenes fusionadas Landsat 7 y Landsat 8 presentan mejores resultados para los tres métodos de fusión, frente a las imágenes QuickBird, IKONOS y Natmur-08. Esto contrasta con la evaluación cualitativa realizada en la sección anterior, reflejando la importancia de practicar estos dos enfoques de evaluación (cualitativo y cuantitativo), algo que también ha sido reportado en anteriores investigaciones (Klonus y Ehlers, 2009).

Tabla 3.2: Valoración cuantitativa de las imágenes fusionadas.

Plataforma:		Satélite QuickBird										
Ratio espacial:		4										
Resolución radiométrica:		11 bits										
Banda espectral	Índice Universal de Calidad de Imagen			índice ERGAS espectral			índice ERGAS espacial			índice ERGAS promedio		
	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS
Banda 1	0.922	0.866	0.893	3.117	3.855	3.588	3.840	2.756	3.143	3.478	3.305	3.366
Banda 2	0.925	0.859	0.886	3.512	4.547	4.253	3.782	2.182	2.732	3.647	3.364	3.492
Banda 3	0.923	0.864	0.891	4.463	5.680	5.295	4.753	3.265	3.937	4.608	4.472	4.616
Banda 4	0.925	0.964	0.956	3.102	2.272	2.550	4.439	6.201	5.865	3.770	4.236	4.208
Global	0.924	0.888	0.906	3.591	4.270	4.047	4.223	3.920	4.100	3.907	4.095	4.073
Plataforma:		Satélite IKONOS										
Ratio espacial:		4										
Resolución radiométrica:		11 bits										
Banda espectral	Índice Universal de Calidad de Imagen			índice ERGAS espectral			índice ERGAS espacial			índice ERGAS promedio		
	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS
Banda 1	0.921	0.841	0.871	5.762	7.343	6.915	8.485	6.003	6.618	7.123	6.673	6.766
Banda 2	0.921	0.831	0.859	4.064	5.365	5.106	5.427	3.368	3.741	4.745	4.366	4.423
Banda 3	0.918	0.847	0.875	3.395	4.177	3.938	5.258	3.950	4.191	4.327	4.063	4.064
Banda 4	0.926	0.964	0.955	3.129	2.208	2.520	4.492	6.284	6.060	3.811	4.246	4.290
Global	0.922	0.871	0.890	4.214	5.124	4.892	6.109	5.061	5.293	5.161	5.093	5.093
Plataforma:		Satélite Landsat 7										
Ratio espacial:		2										
Resolución radiométrica:		8 bits										
Banda espectral	Índice Universal de Calidad de Imagen			índice ERGAS espectral			índice ERGAS espacial			índice ERGAS promedio		
	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS
Banda 1	0.972	0.947	0.957	1.643	2.188	1.967	3.031	1.968	2.053	2.337	2.078	2.010
Banda 2	0.972	0.946	0.956	2.511	3.440	3.117	3.612	1.951	2.048	3.062	2.695	2.583
Banda 3	0.973	0.946	0.957	3.191	4.396	3.985	4.611	2.025	2.620	3.901	3.211	3.302
Banda 4	0.973	0.969	0.973	1.915	2.149	2.005	3.476	4.912	4.661	2.695	3.530	3.333
Global	0.973	0.952	0.961	2.390	3.185	2.893	3.727	2.996	3.041	3.059	3.090	2.967
Plataforma:		Satélite Landsat 8										
Ratio espacial:		2										
Resolución radiométrica:		16 bits										
Banda espectral	Índice Universal de Calidad de Imagen			índice ERGAS espectral			índice ERGAS espacial			índice ERGAS promedio		
	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS
Banda 1	0.977	0.987	0.987	2.279	1.971	1.994	1.695	1.405	1.335	1.987	1.688	1.664
Banda 2	0.978	0.987	0.987	2.389	2.082	2.117	1.401	1.039	1.007	1.895	1.560	1.562
Banda 3	0.979	0.988	0.987	2.736	2.385	2.432	1.877	1.563	1.635	2.307	1.974	2.033
Global	0.978	0.987	0.987	2.476	2.153	2.189	1.669	1.354	1.350	2.072	1.753	1.769
Plataforma:		Aerotransportada (Natmur-08)										
Ratio espacial:		4.4										
Resolución radiométrica:		16 bits										
Banda espectral	Índice Universal de Calidad de Imagen			índice ERGAS espectral			índice ERGAS espacial			índice ERGAS promedio		
	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS
Banda 1	0.909	0.909	0.909	3.357	3.329	3.371	1.820	1.058	1.030	2.588	2.194	2.201
Banda 2	0.908	0.909	0.910	3.777	3.731	3.769	2.043	1.300	1.436	2.910	2.516	2.603
Banda 3	0.909	0.915	0.914	3.200	3.068	3.144	2.423	2.097	2.072	2.811	2.583	2.608
Banda 4	0.908	0.921	0.920	2.619	2.421	2.518	2.200	2.278	2.281	2.410	2.350	2.399
Global	0.909	0.913	0.913	3.265	3.173	3.233	2.133	1.760	1.776	2.699	2.467	2.504

3.4 Comparación de las imágenes fusionadas en GRASS y en software privativo

En esta sección se realiza una comparación de las imágenes fusionadas en GRASS y en



software privativo (ERDAS IMAGINE y ENVI). Para ello, se ha procedido a realizar la fusión en los respectivos programas. Las imágenes fusionadas en software privativo han sido importadas a GRASS con el módulo *r.in.gdal*, el cual opera con datos geoespaciales y soporta diferentes formatos de librerías GDAL (Neteler y Mitsova, 2008).

En cuanto al software privativo, la fusión HPF ha sido realizada en ERDAS y la fusión ACP y GS ha sido realizada en ENVI. No obstante, la fusión ACP de las imágenes IKONOS y Landsat 8 se ha realizado con ERDAS, puesto que los resultados que arrojaba ENVI, resultaban totalmente anómalos, con lo cual resultaba imposible la comparación. Por otra parte, la fusión GS de la imagen Landsat 8, también arrojó resultados totalmente distorsionados, por lo cual, en este caso no fue posible la comparación pertinente (ERDAS IMAGINE 2011 no trae implementada esta fusión).

Dado que en este caso las imágenes a comparar disponen, como es obvio, de la misma resolución espacial, se ha procedido a evaluar dichas imágenes usando solamente el Índice Q, el cual analiza las distorsiones en términos de la calidad de la información espectral.

Los resultados de comparar las imágenes fusionadas en GRASS y en software privativo (tabla 3.3), muestran una fidelidad bastante marcada para las tres metodologías de fusión. Todas las comparaciones ofrecen resultados sobre el valor de 0.990, llegando en algunos casos a 1. La excepción se da en la imagen IKONOS, fusión ACP y GS, con valores de 0.969 y 0.984, respectivamente. De todas formas, no dejan de ser valores altos, lo cual sugiere las bondades que los *scripts* elaborados ofrecen al usuario de software libre.

El autor no ha encontrado en la literatura de fusión de imágenes estudios que comparen los resultados de la aplicación de una misma metodología de fusión de imágenes en diferentes programas SIG, lo cual sería importante para los usuarios de imágenes fusionadas.

Finalmente, se puede señalar la particularidad de que la fusión HPF en ERDAS IMAGINE 2011, solo permite las opciones de valor central de la matriz de filtraje para

imágenes con un ratio entre 1.0 y 2.5 (tabla 2.2). Por tanto, para las imágenes con ratio 4 y 4.4 empleadas también en este trabajo, al momento de realizar la fusión en ERDAS, esta opción se ha dejado la que dicho programa presenta por defecto.

Tabla 3.3: Evaluación cuantitativa entre la imágenes fusionadas en GRASS y software privativo.

Plataforma:	Satélite QuickBird		
Ratio espacial:	4		
Resolución radiométrica:	11 bits		
Banda espectral	Índice Universal de Calidad de Imagen		
	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS
Banda 1	1.000	0.994	0.994
Banda 2	0.999	0.997	0.996
Banda 3	1.000	0.997	0.996
Banda 4	1.000	0.986	0.988
Global	1.000	0.994	0.994
Plataforma:	Satélite IKONOS		
Ratio espacial:	4		
Resolución radiométrica:	11 bits		
Banda espectral	Índice Universal de Calidad de Imagen		
	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS
Banda 1	1.000	0.946	0.987
Banda 2	1.000	0.964	0.989
Banda 3	1.000	0.974	0.984
Banda 4	0.999	0.993	0.977
Global	1.000	0.969	0.984
Plataforma:	Satélite Landsat 7		
Ratio espacial:	2		
Resolución radiométrica:	8 bits		
Banda espectral	Índice Universal de Calidad de Imagen		
	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS
Banda 1	0.998	0.995	0.996
Banda 2	0.999	0.998	0.998
Banda 3	0.999	0.999	0.999
Banda 4	0.999	0.995	0.996
Global	0.999	0.997	0.997
Plataforma:	Satélite Landsat 8		
Ratio espacial:	2		
Resolución radiométrica:	16 bits		
Banda espectral	Índice Universal de Calidad de Imagen		
	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS
Banda 1	1.000	0.993	-
Banda 2	1.000	0.993	-
Banda 3	1.000	0.993	-
Global	1.000	0.993	-
Plataforma:	Aerotr transportada (Natmur-08)		
Ratio espacial:	4.4		
Resolución radiométrica:	16 bits		
Banda espectral	Índice Universal de Calidad de Imagen		
	Fusión HPF	Fusión ACP	Fusión GS
Banda 1	0.979	0.973	0.973
Banda 2	0.979	0.973	0.973
Banda 3	1.000	0.998	0.998
Banda 4	1.000	0.997	0.997
Global	0.990	0.985	0.985

CAPÍTULO 4

Conclusiones

El objetivo de este estudio fue implementar en un software libre (GRASS-GIS), tres técnicas de fusión de imágenes: *High Pass Filter*, Análisis de Componentes Principales y *Gram-Schmidt*; aplicar estas técnicas para fusionar imágenes multiespectrales y pancromáticas de cuatro plataformas satelitales (QuickBird, IKONOS, Landsat 7 y Landsat 8) y una plataforma aerotransportada (Proyecto Natmur-08); y, evaluar los resultados cualitativamente mediante una comparación visual y, cuantitativamente, mediante dos índices de calidad implementados en GRASS en esta investigación: Índice universal de calidad de la imagen e Índice ERGAS.

Las conclusiones de esta investigación son las siguientes:

- El programa de código libre GRASS-GIS operado desde una plataforma GNU/Linux, permite manejar grandes volúmenes de datos geoespaciales y llevar a cabo desde tareas sencillas hasta procesos más complejos, manteniendo la confiabilidad, y posibilitando la implementación de los algoritmos propuestos en esta investigación, los mismos que deberían ser considerados a nivel de prototipo.
- En las imágenes fusionadas con los algoritmos implementados en GRASS, no se han encontrado resultados anómalos, situación que si se ha encontrado en menor grado y para casos específicos con la aplicación de otros programas (sección 3.4).
- Una comparación visual de las imágenes fusionadas en relación con las imágenes originales, muestra la utilidad de aplicar metodologías de fusión de imágenes como las implementadas en este trabajo.
- La valoración cualitativa de los resultados no siempre concuerda con una evaluación cuantitativa. Por tanto, cada uno de estos enfoques puede aportar importantes criterios de análisis y deberían ser considerados en una forma complementaria al momento de evaluar la calidad de la fusión de imágenes.
- El Índice universal de calidad de imagen ofrece una valoración más alta a la fusión



HPF con las imágenes QuickBird, IKONOS y Landsat 7. Mientras, con las imágenes Landsat 8 y Natmur-08, las técnicas ACP y GS ofrecen el mejor resultado.

- En el caso del Índice ERGAS (promedio), la fusión GS ofrece buenos resultados para las imágenes IKONOS y Landsat 7; para las imágenes Landsat 8 y Natmur-08, ACP y GS presentan resultados aceptables; y, para la imagen QuickBird, la fusión HPF presenta la mejor valoración.

- Es importante tener un buen entendimiento de los principios implicados en los distintos métodos de fusión de imágenes —sus ventajas y limitaciones—, así como un buen conocimiento de las características de los datos que van a integrarse en los procesos de fusión, a fin de tomar las precauciones necesarias al momento de seleccionar una metodología de fusión de imágenes que permita la obtención de resultados confiables.

- Lo propio podría decirse para el proceso de evaluación, el cual requiere ser aplicado con precaución. Pueden presentarse importantes desacuerdos al aplicar una u otra metodología. Aunque en esta investigación se han agrupado los resultados para las cinco imágenes empleadas, los mismos indican que hay mayor consistencia cuando se realiza una evaluación independiente para cada imagen empleada, no solo por las características propias de los sensores, sino por condiciones diferentes que pueden presentarse en distintos territorios y temporalidades asociadas a las imágenes.



Bibliografía

- Aiazzi, B., Baronti, S., & Selva, M. (2007). MS + Pan image fusion by an enhanced Gram-Schmidt spectral sharpening (pp. 113-120). *New Developments and Challenges in Remote Sensing*, Rotterdam.
- Aiazzi, B., Baronti, S., Selva, M., & Alparone, L. (2006). Enhanced Gram-Schmidt Spectral Sharpening Based on Multivariate Regression of MS and Pan Data (pp. 3806-3809). *IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing. IGARSS 2006*.
- Alonso Sarría, F. (2006). *Sistemas de Información Geográfica*. Cátedra del Departamento de Geografía. Universidad de Murcia. España.
- Alonso Sarría, F. (s. f.). *Tutorial de introducción a GRASS*. Cátedra del Departamento de Geografía. Universidad de Murcia. España.
- Alonso Sarría, F., & Palazón Ferrando, J. A. (2004). *Software libre para SIG*. Universidad de Murcia. España.
- Alparone, L., Wald, L., Chanussot, J., Thomas, C., Gamba, P., & Bruce, L. (2007). Comparison of Pansharpening Algorithms: Outcome of the 2006 GRS-S Data Fusion Contest. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(10), 3012-3021.
- Amro, I., Mateos, J., Vega, M., Molina, R., & Katsaggelos, A. K. (2011). A survey of classical methods and new trends in pansharpening of multispectral images. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2011(79).
- Basaeed, E., Bhaskar, H., & Al-Mualla, M. (2013). Comparative Analysis of Pansharpening Techniques on DubaiSat-1 images. Khalifa University, Abu Dhabi, U.A.E.
- Campbell, J., & Wynne, R. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. The Guilford Press.
- Cánovas García, F. (2012). *Análisis de imágenes basado en objetos (OBIA) y aprendizaje automático para la obtención de mapas de coberturas del suelo a*

partir de imágenes de muy alta resolución espacial. (Tesis doctoral).

Universidad de Murcia, España.

Cánovas García, F., & Alonso Sarriá, F. (2014). Comparación de técnicas de fusión en imágenes de alta resolución espacial. *Geofocus*, 14, 144-162.

Carrión Pérez, P., Ródenas García, J., & Rieta Ibáñez, J. (2006). *Ingeniería biomédica: Imágenes médicas* (Vol. 49). Universidad de Castilla La Mancha.

Carter, D. B. (1998). *Analysis of Multiresolution Data Fusion Techniques*. Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, EUA.

Chavez, P. S., Guphill, S. C., & Howell, J. (1984). Image Processing Techniques for Thematic Mapper Data (pp. 728-743). 50th Annual ASP-ACSM Symposium, American Society of Photogrammetry, Washington, D.C.

Chavez, P. S., Sides, S. C., & Anderson, J. A. (1991). Comparison of Three Different Methods to Merge Multiresolution and Multispectral Data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57(3), 295-303.

Chuvieco Salinero, E. (2010). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio* (3a edición). Ariel.

Clayton, D. G. (1971). Algorithm AS 46: Gram-Schmidt Orthogonalization. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 20(3), 335-338.

Cliche, C., Bonn, F., & Teillet, P. (1985). Integration of the SPOT Panchromatic Channel into Its Multispectral Mode for Image Sharpness Enhancement. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 51(3), 311-316.

Darvishi Boloorani, A. (2008). *Remotely Sensed Data Fusion as a Basis for Environmental Studies: Concepts, Techniques and Applications. (Tesis doctoral).* Universität zu Göttingen, Göttingen.

Darvishi Boloorani, A., Kappas, M., & Erasmi, S. (2005). Hyper-Spectral / High-Resolution Data fusion: Assessing the Quality of EO1-Hyperion/Spot-Pan and Quickbird-MS Fusion in Spectral Domain Models. High-Resolution Earth



- Imaging For Geospatial Information (ISPRS), Hannover, Germany.
- De Béthune, S., Muller, F., & Donnay, J. P. (1998). Fusion of multispectral and panchromatic images by local mean and variance matching filtering techniques. *Fusion of Earth Data, Sophia Antipolis*.
- DigitalGlobe. (2013a). IKONOS, Data Sheet.
- DigitalGlobe. (2013b). QuickBird, Data Sheet.
- Du, Q., Younan, N. H., King, R., & Shah, V. P. (2007). On the Performance Evaluation of Pan-Sharpening Techniques. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 4(4), 518-522.
- Ehlers, M., Klonus, S., Astrand, P. J., & Rosso, P. (2010). Multi-sensor image fusion for pansharpening in Remote Sensing. *International Journal of Image and Data Fusion*, 1(1), 25-45.
- ERDAS IMAGINE. (2011). HPF Resolution Merge. Tutorial.
- European Commision. (1997). Corine Land Cover: Technical Guide. European Environment Agency.
- Farebrother, R. W. (1974). Algorithm AS 79: Gram-Schmidt Regression. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 23(3), 470-476.
- Free Software Foundation. (2015). Recuperado a partir de <https://www.fsf.org/about/what-is-free-software>
- Gangkofner, U. G., Pradhan, P. S., & Holcomb, D. W. (2008). Optimizing the High-Pass Filter Addition Technique for Image Fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(9), 1107-1118.
- Gao, J. (2009). *Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery*. McGraw-Hill.
- Gomarasca, M. (2009). *Basics of Geomatics*. Springer.
- Gonzalo, C., & Lillo-Saavedra, M. (2005). Determinación objetiva del nivel de degradación para la fusión de imágenes IKONOS mediante el algoritmo à trous ponderado. XI Congreso Nacional de Teledetección, Puerto de la Cruz, Tenerife. España.



- GRASS GIS. (2015). Recuperado a partir de <https://grass.osgeo.org/>
- Karathanassi, V., Kolokousis, P., & Ioannidou, S. (2007). A comparison study on fusion methods using evaluation indicators. *International Journal of Remote Sensing*, 28(10), 2309-2341.
- Klonus, S., & Ehlers, M. (2009). Performance of evaluation methods in image fusion (pp. 1409-1416). 12th International Conference on Information Fusion, Seattle, USA.
- Kramer, H. J. (2002). *Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors* (4th Edition). Berlin: Springer.
- Kumar, P. A., Rao, B. R., Savitha, S., Srinivas, O., Jyothi, B., & Bothale, V. M. (2014). Performance evaluation of pan-sharpening methods for the cases of fusion constraints. ISPRS TC VIII Mid-Term Symposium, Hyderabad, India.
- Laben, C. A., & Brower, B. V. (2000). *Process for enhancing the Spatial Resolution of Multispectral Imagery using pan-sharpening*. United States Patent 6.011.875.
- Landsat Project Science Office. (2011). Landsat 7 Science Data User's Handbook. National Aeronautics and Space Administration.
- Larson, M., Shapiro, M., & Tweddale, S. (1991). Performing Map Calculations on GRASS Data: r.mapcalc Program Tutorial. U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory.
- Lillo-Saavedra, M., Gonzalo, C., Arquero, A., & Martinez, E. (2005). Fusion of multispectral and panchromatic satellite sensor imagery based on tailored filtering in the Fourier domain. *International Journal of Remote Sensing*, 26(6), 1263-1268.
- Li, S., Li, Z., & Gong, J. (2010). Multivariate statistical analysis of measures for assessing the quality of image fusion. *International Journal of Image and Data Fusion*, 1(1), 47-66.
- Liu, J. G., & Mason, P. J. (2009). *Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing*. WILEY-BLACKWELL.



- Mather, P. M. (2004). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction* (Third Edition). WILEY.
- Maurer, T. (2013). How to Pan-Sharpen Images Using the Gram-Schmidt Pan-Sharpen Method - a Recipe. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-1/W1*, 239-244.
- Mishra, R. K., & Zhang, Y. (2013). A comparison of commercial Pan-sharpening techniques for HR Satellite imagery. ESRI International User Conference 2013, San Diego, USA.
- Mularz, S., Drzewiecki, W., & Pirowski, T. (2000). Merging Landsat TM images and Airborne Photographs for monitoring of Open-Cast Mine Area. University of Mining and Metallurgy, Krakow, Poland.
- Neteler, M., & Mitasova, H. (2008). *Open Source GIS. A GRASS GIS Approach* (Third Edition). Springer.
- Nikolakopoulos, K. G. (2008). Comparison of Nine Fusion Techniques for Very High Resolution Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(5), 647-659.
- Njoku, E. G. (Ed.). (2014). *Encyclopedia of Remote Sensing*. Springer.
- Nussbaum, S., & Menz, G. (2008). *Object-Based Image Analysis and Treaty Verification*. Springer.
- Ozdarici, A., & Akyurek, Z. (2011). Evaluation of Image Fusion Methods on Agricultural Lands. *Journal of Earth Science and Engineering*, 1, 107-113.
- Paine, D. P., & Kiser, J. D. (2012). *Aerial Photography and Image Interpretation* (Third Edition). WILEY.
- Pohl, C., & Van Genderen, L. (1998). Review article Multisensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 823-854.
- Presidencia de la República del Ecuador. (2008, abril). Decreto 1014.
- Ranchin, T., & Wald, L. (2000). Fusion of High Spatial and Spectral Resolution Images:



- The ARSIS Concept and Its Implementation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66(1), 49-61.
- Richards, J. A., & Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis* (4th Edition). Springer.
- Sarp, G. (2014). Spectral and spatial quality analysis of pan-sharpening algorithms: A case study in Istanbul. *European Journal of Remote Sensing*, 47, 19-28.
- Schowengerdt, R. A. (1980). Reconstruction of Multispatial, Multispectral Image Data Using Spatial Frequency Content. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 46(10), 1325-1334.
- Schowengerdt, R. A. (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing* (Third Edition). ELSEVIER.
- Shapiro, M., & Westervelt, J. (1992). R.MAPCALC An Algebra for GIS and Image Processing. U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory.
- Shettigara, V. K. (1992). A Generalized Component Substitution Technique for Spatial Enhancement of Multispectral Images Using a Higher Resolution Data Set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 58(5), 561-567.
- Shridhar, D. J., & Alvarinho, J. L. (2013). A Comprehensive Evaluation of PAN-Sharpener Algorithms Coupled with Resampling Methods for Image Synthesis of Very High Resolution Remotely Sensed Satellite Data. *Advances in Remote Sensing*, 2, 332-344.
- Sobrino, J. (2000). *Teledetección*. Universitat de Valencia.
- Stallman, R. M. (2004). *Software libre para una sociedad libre* (Primera Edición). Traficantes de Sueños.
- Subsecretaría de Informática. (2009, Enero). Estrategia para la implantación de Software Libre en la Administración Pública Central de Ecuador.
- Švab, A., & Oštir, K. (2006). High-resolution Image Fusion: Methods to Preserve Spectral and Spatial Resolution. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(5), 565-572.



- Tapiador, F. J., & Casanova, J. L. (2001). Aplicaciones de la Fusión de Datos en la Ordenación Territorial. *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*, pp. 508-511.
- U.S. Geological Survey. (2015). Landsat 8 Data User's Handbook.
- Vaca Vera, K. (2010). *La Comunidad del Software Libre en el Ecuador: Discursos y Prácticas*. (Tesis de maestría). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO, Ecuador.
- Wald, L. (2000). Quality of high resolution synthesised images: Is there a simple criterion ? (pp. 99-103). *Fusion of Earth Data*, Sophia Antipolis, France.
- Wald, L., Ranchin, T., & Mangolini, M. (1997). Fusion of Satellite Images of Different Spatial Resolutions: Assessing the Quality of Resulting Images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63(6), 691-699.
- Wang, Z., & Bovik, A. C. (2002). A Universal Image Quality Index. *IEEE Signal Processing Letters*, 9(3), 2177-2182.
- Wang, Z., Ziou, D., Armenakis, C., Li, D., & Li, Q. (2005). A Comparative Analysis of Image Fusion Methods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(6), 1391-1402.
- Xu, Q., Zhang, Y., & Li, B. (2014). Recent advances in pansharpening and key problems in applications. *International Journal of Image and Data Fusion*, 5(3), 175-195.
- Yésou, H., Besnus, Y., & Rolet, J. (1993). Extraction of spectral information from Landsat TM data and merger with SPOT panchromatic imagery - a contribution to the study of geological structures. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 48(5), 23-36.
- Yuhendra, H. K., & Sri Sumantyo, J. T. (2010). Performance Analyzing of High Resolution Pan-Sharpening Techniques: Increasing Image Quality For Classification Using Supervised Kernel Support Vector Machine. *SELECTED TOPICS in POWER SYSTEMS and REMOTE SENSING*, 260-268.



- Zhang, Y. (2002). Problems in the Fusion of Commercial High-Resolution Satellites Images as well as LANDSAT 7 Images and Initial Solutions. Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, Canada.
- Zhang, Y. (2004). Understanding image fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(6), 657-661.
- Zhang, Y. (2008). Methods for Image Fusion Quality Assessment - A Review, Comparison and Analysis. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII, 1101-1109.
- Zhang, Y., & Mishra, R. K. (2012). A review and comparison of commercially available pan-sharpening techniques for high resolution satellite image fusion. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), International Conference on*, 182-185.



ANEXOS

- *Script* fusión de imágenes: *High Pass Filter* (HPF)
- *Script* fusión de imágenes: Análisis de Componentes Principales (ACP)
- *Script* fusión de imágenes: *Gram-Schmidt* (GS)
- *Script* evaluación cuantitativa: Índice universal de calidad de imagen (Índice Q)
- *Script* evaluación cuantitativa: *Erreur relative globale adimensionnelle de synthèse* (Índice ERGAS)
- *Script* para ajuste lineal de una CLUT asociada a un mapa raster o grupo

```

1  #!/bin/sh
2  # This program is Free Software under the GNU GPL (>=V2).
3  # calculate HPF Resolution Merge for raster data
4  if test "$GISBASE" = ""; then
5  echo "You must be in GRASS to run this program."
6  exit
7  fi
8
9  clear
10
11 echo
12 echo "*****"
13 echo "FUSIÓN DE IMÁGENES POR EL MÉTODO HIGH PASS FILTER"
14 echo "*****"
15
16 echo "Descripción:"
17 echo " Script para fusión de capas multiespectrales (agrupadas con i.group) de baja resolución co
n una capa pancromática de alta resolución."
18 echo
19 echo "Uso:"
20 echo " sh fusion_hpf_vXX.sh grupo=name pan=name method=string sd_w=value r_radio=value modo=value
"
21 echo
22 echo "Parámetros:"
23 echo "      grupo  Nombre del grupo de bandas multiespectrales creado con i.group"
24 echo "      pan     Nombre de la banda pancromática"
25 echo "      method  Método de remuestreo"
26 echo "              opciones: nearest,bilinear,bicubic"
27 echo "              preestablecido: bilinear"
28 echo "      sd_w     Fórmula de cálculo del factor de ponderación W utilizado en el método HP
F"
29 echo "              opciones: 1,2"
30 echo "              1: En la fórmula utilizar la desviación estandar de las Imágenes multies
pectrales originales"
31 echo "              2: En la fórmula utilizar la desviación estandar de las Imágenes multies
pectrales remuestreadas"
32 echo "              preestablecido: 2"
33 echo "      r_radio  Resolución radiométrica (bits) de las imágenes multiespectrales"
34 echo "      modo     Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso"
35 echo "              opciones: 1,2"
36 echo "              1: El script corre en modo normal (al final del script se borran archivo
s auxiliares creados en el proceso)"
37 echo "              2: El script corre en modo prototipo (se preservan los archivos y mapas
auxiliares creados en el proceso)"
38 echo "              preestablecido: 1"
39 echo
40 echo "Nota:"
41 echo "      Los nombres de las bandas no deben contener puntos ni guión medio"
42 echo
43
44
45 #Condicional para mostrar la ayuda del script y salir
46 if [ "$1" = "-help" ] || [ "$1" = "--help" ]; then
47     exit
48 fi
49
50
51 #Administración y validación de los parámetros de entrada
52 echo $* | sed 's/ /\n/g' > parametros.txt
53
54 if [ "`cat parametros.txt | grep 'grupo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
55     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <grupo>"
56     exit
57 else
58     grupo=`cat parametros.txt | grep 'grupo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
59 fi
60
61 if [ "`cat parametros.txt | grep 'pan' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
62     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <pan>"
63     exit
64 else
65     pan=`cat parametros.txt | grep 'pan' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`

```

```

66  fi
67
68  if [ "`cat parametros.txt | grep 'method' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
69      method=bilinear
70  else
71      method=`cat parametros.txt | grep 'method' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
72      if test $method = "nearest" -o $method = "bilinear" -o $method = "bicubic"; then true
73      else
74          g.message -e message="Disculpe pero el parámetro <method=$method> no es una opción válida"
75          echo "opciones: nearest,bilinear,bicubic"
76          exit
77      fi
78  fi
79
80  if [ "`cat parametros.txt | grep 'sd_w' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
81      sd_w=2
82  else
83      sd_w=`cat parametros.txt | grep 'sd_w' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
84      if test $sd_w = "1" -o $sd_w = "2"; then true
85      else
86          g.message -e message="Disculpe pero el parámetro <sd_w=$sd_w> no es una opción válida"
87          echo "opciones: 1,2"
88          exit
89      fi
90  fi
91
92  if [ "`cat parametros.txt | grep 'r_radio' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
93      g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <r_radio>"
94      exit
95  else
96      r_radio=`cat parametros.txt | grep 'r_radio' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
97  fi
98
99  if [ "`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
100      modo=1
101  else
102      modo=`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
103      if test $modo = "1" -o $modo = "2"; then true
104      else
105          g.message -e message="Disculpe pero el parámetro <modo=$modo> no es una opción válida"
106          echo "opciones: 1,2"
107          exit
108      fi
109  fi
110
111  #CREA LISTADO CON LAS CAPAS DEL GRUPO DE BANDAS MULTIESPECTRALES
112  i.group group=$grupo -g > bandas.txt
113
114  awk 'BEGIN { FS = "@" } ; { print $1 }' < bandas.txt > ban.txt
115
116  #Cálculo del número de bandas multiespectrales (incluidas en el grupo)
117  N=`sed -n '$=' bandas.txt`
118
119
120
121  #ASIGNACIÓN DE VARIABLES DE LA RESOLUCIÓN ESPACIAL MULTIESPECTRAL Y PANCROMÁTICA
122  ms=`sed -n 1p bandas.txt` #Variable temporal para el cálculo de rm
123  pan=$pan #variable temporal para el cálculo de rp
124
125  rm=`g.region -g rast=$ms | grep 'nsres' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
126  rp=`g.region -g rast=$pan | grep 'nsres' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
127
128
129  #CÁLCULO DEL RATIO "r" Y TAMAÑO DE LA VENTANA "hpk", ESPECIFICADOS EN EL MÉTODO HIGH PASS FILTER
130  hpk=$(echo "scale=10;rm=$rm;rp=$rp;r=rm/rp;\n
131  if(r<=1) hpk=1;\n
132  if(r>1 && r<2.5) hpk=5;\n
133  if(r>=2.5 && r<3.5) hpk=7;\n
134  if(r>=3.5 && r<5.5) hpk=9;\n
135  if(r>=5.5 && r<7.5) hpk=11;\n

```

```

136 if(r>=7.5 && r<9.5) hpk=13;\
137 if(r>=9.5) hpk=15;\
138 hpk" | bc)
139
140 #El siguiente bucle impide el desarrollo del script si la resolución espacial de las bandas multi
141 espectrales fuese menor o igual a la resolución espacial de la banda pancromática.
142 if [ $hpk -eq 1 ]
143 then echo "Resolución espacial de las capas multiespectrales menor o igual a la capa pancromáti
144 ca";
145 exit
146 fi
147
148 #CÁLCULO DEL VALOR CENTRAL "vc", ESPECIFICADOS EN EL MÉTODO HIGH PASS FILTER
149 vc=$(echo "scale=10;rm=$rm;rp=$rp;r=rm/rp;\
150 if(r<=1) vc=0;\
151 if(r>1 && r<2.5) vc=24;\
152 if(r>=2.5 && r<3.5) vc=48;\
153 if(r>=3.5 && r<5.5) vc=80;\
154 if(r>=5.5 && r<7.5) vc=120;\
155 if(r>=7.5 && r<9.5) vc=168;\
156 if(r>=9.5) vc=336;\
157 vc" | bc)
158
159 #CÁLCULO DEL FACTOR DE PONDERACIÓN "m", ESPECIFICADOS EN EL MÉTODO HIGH PASS FILTER
160 m=$(echo "scale=10;rm=$rm;rp=$rp;r=rm/rp;\
161 if(r<=1) m=0;\
162 if(r>1 && r<2.5) m=0.25;\
163 if(r>=2.5 && r<3.5) m=0.50;\
164 if(r>=3.5 && r<5.5) m=0.50;\
165 if(r>=5.5 && r<7.5) m=0.65;\
166 if(r>=7.5 && r<9.5) m=1.00;\
167 if(r>=9.5) m=1.35;\
168 m" | bc)
169
170 #GENERACIÓN DEL ARCHIVO "filter" REQUERIDO PARA EL COMANDO r.mfilter
171 case $hpk in
172 5)
173 echo "TITLE      Filtro $hpk x $hpk para HPF
174 MATRIX $hpk
175 -1 -1 -1 -1 -1
176 -1 -1 -1 -1 -1
177 -1 -1 $vc -1 -1
178 -1 -1 -1 -1 -1
179 DIVISOR `expr $hpk \* $hpk`
180 TYPE      P" > kernel$hpk.txt
181 ;;
182 7)
183 echo "TITLE      Filtro $hpk x $hpk para HPF
184 MATRIX $hpk
185 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
186 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
187 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
188 -1 -1 -1 $vc -1 -1 -1
189 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
190 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
191 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
192 DIVISOR `expr $hpk \* $hpk`
193 TYPE      P" > kernel$hpk.txt
194 ;;
195 9)
196 echo "TITLE      Filtro $hpk x $hpk para HPF
197 MATRIX $hpk
198 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
199 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
200 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
201 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
202 -1 -1 -1 -1 $vc -1 -1 -1 -1
203 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
204 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
205 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1

```

```

206 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
207 DIVISOR `expr $hpk \* $hpk`
208 TYPE P" > kernel$hpk.txt
209 ;;
210 11)
211 echo "TITLE Filtro $hpk x $hpk para HPF
212 MATRIX $hpk
213 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
214 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
215 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
216 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
217 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
218 -1 -1 -1 -1 -1 $vc -1 -1 -1 -1 -1
219 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
220 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
221 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
222 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
223 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
224 DIVISOR `expr $hpk \* $hpk`
225 TYPE P" > kernel$hpk.txt
226 ;;
227 13)
228 echo "TITLE Filtro $hpk x $hpk para HPF
229 MATRIX $hpk
230 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
231 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
232 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
233 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
234 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
235 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
236 -1 -1 -1 -1 -1 -1 $vc -1 -1 -1 -1 -1 -1
237 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
238 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
239 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
240 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
241 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
242 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
243 DIVISOR `expr $hpk \* $hpk`
244 TYPE P" > kernel$hpk.txt
245 ;;
246 15)
247 echo "TITLE Filtro $hpk x $hpk para HPF
248 MATRIX $hpk
249 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
250 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
251 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
252 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
253 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
254 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
255 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
256 -1 -1 -1 -1 -1 -1 $vc -1 -1 -1 -1 -1 -1
257 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
258 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
259 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
260 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
261 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
262 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
263 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
264 DIVISOR `expr $hpk \* $hpk`
265 TYPE P" > kernel$hpk.txt
266 ;;
267 esac
268
269
270 #CÁLCULO DE LA IMAGEN PANCROMÁTICA FILTRADA
271 g.region rast=$pan
272
273 case $hpk in
274 5) r.mfilter --o input=$pan output=HPF_mfilter filter=kernel5.txt;;
275 7) r.mfilter --o input=$pan output=HPF_mfilter filter=kernel7.txt;;
276 9) r.mfilter --o input=$pan output=HPF_mfilter filter=kernel9.txt;;
277 11) r.mfilter --o input=$pan output=HPF_mfilter filter=kernel11.txt;;

```

```

278 13) r.mfilter --o input=$pan output=HPF_mfilter filter=kernel13.txt;;
279 15) r.mfilter --o input=$pan output=HPF_mfilter filter=kernel15.txt;;
280 esac
281
282
283 #CÁLCULO DE LA DESVIACIÓN TÍPICA DE LA IMAGEN FILTRADA.
284
285 #Puesto que la imagen filtrada produce en los bordes valores distorsionados debido a que el kernel o "ventana de filtrado" no encuentra valores adecuados para hacer el cálculo, es necesario, antes de calcular la desviación típica, disminuir las filas y columnas correspondientes de los bordes según el tamaño del kernel (hpk) aplicado. Así:
286 #Para hpk=5 Número de filas y columnas a reducir (hpk2) = (hpk - 1) / 2 = 2
287 #Para hpk=7, hpk2=3
288 #Para hpk=9, hpk2=4
289 #Para hpk=11, hpk2=5
290 #Para hpk=13, hpk2=6
291 #Para hpk=15, hpk2=7
292
293 hpk2=`expr \( $hpk - 1 \) / 2`
294
295 #Límites de la 'región' actual
296 n=`g.region -g rast=HPF_mfilter | grep '^n=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
297 s=`g.region -g rast=HPF_mfilter | grep '^s=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
298 w=`g.region -g rast=HPF_mfilter | grep '^w=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
299 e=`g.region -g rast=HPF_mfilter | grep '^e=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
300
301 #Cálculo de los nuevos límites para la 'región'
302 echo "scale=10
303 n=$((n-$hpk2*$rp)
304 s=$((s+$hpk2*$rp)
305 w=$((w+$hpk2*$rp)
306 e=$((e-$hpk2*$rp)
307
308 n
309 s
310 w
311 e" > region.txt
312
313 bc < region.txt > limites.txt
314
315 n=`awk 'NR == 1' limites.txt`
316 s=`awk 'NR == 2' limites.txt`
317 w=`awk 'NR == 3' limites.txt`
318 e=`awk 'NR == 4' limites.txt`
319
320 #Cálculo de la desviación típica de la imagen filtrada según los nuevos límites establecidos
321 g.region rast=HPF_mfilter n=$n s=$s w=$w e=$e
322 sd_pan=`r.univar -g map=HPF_mfilter | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
323
324
325 #CÁLCULO DE LAS BANDAS ORIGINALES REMUESTREADAS A LA RESOLUCIÓN DE LA PANCROMÁTICA. LAS BANDAS REMUESTREADAS SE GUARDAN EN EL ARCHIVO "resamp_ban.txt"
326 g.region rast=$pan
327
328 >resamp_ban.txt
329 for capa in $(cat bandas.txt)
330 do
331     r.resamp.interp --o input=$capa output=resamp_$capa method=$method
332     echo "resamp_$capa" >> resamp_ban.txt
333 done
334
335
336 #CÁLCULO DE LAS BANDAS FUSIONADAS
337 #Las bandas fusionadas se calculan en misma 'region' del paso anterior
338 g.region rast=HPF_mfilter n=$n s=$s w=$w e=$e
339
340 if [ $sd_w -eq 1 ]
341 then
342     for capa in $(cat ban.txt)
343     do
344         r.mapcalc --o "fus_$capa = resamp_$capa + round( (HPF_mfilter * $(echo `r.univar -g map=$capa | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`)' * $m / $sd_pan) )"

```

```

345     done
346 else
347     for capa in $(cat ban.txt)
348     do
349         r.mapcalc --o "fus_$capa = resamp_$capa + round( (HPF_mfilter * $(echo `r.univar -g map=resam
p_$capa | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`') * $m / $sd_pan) )"
350     done
351 fi
352
353
354 #AJUSTE DEL HISTOGRAMA (media y desviación estandar) DE LAS IMAGENES FUSIONADAS
355 #Previamente calculamos el rango de la resolución radiométrica de las imágenes para permitir que
los ND de las imágenes fusionadas no excedan dicho rango
356
357 rr=$(echo "scale=10;a=$r_radio;rr=2^a-1;rr" | bc)
358
359 g.region rast=HPF_mfilter n=$n s=$s w=$w e=$e
360 for capa in $(cat ban.txt)
361 do
362     sd0=`r.univar -g map=$capa | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
363     sd1=`r.univar -g map=fus_$capa | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
364     u0=`r.univar -g map=$capa | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
365     u1=`r.univar -g map=fus_$capa | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
366
367     gain=$(echo "scale=10;sd0=$sd0;sd1=$sd1;gain=sd0/sd1;gain" | bc)
368     bias=$(echo "scale=10;u0=$u0;u1=$u1;gain=$gain;bias=u0-(gain*u1);bias" | bc)
369
370     r.mapcalc --o "fus_HPF_$capa = if( (round( (fus_$capa * $gain) + $bias )) < 0,0, \
371                                     if( (round( (fus_$capa * $gain) + $bias )) > ${rr},${rr},\
372                                     (round( (fus_$capa * $gain) + $bias )) )"
373
374     r.colors map=fus_HPF_$capa color=grey
375 done
376
377
378 #CONDICIONAL PARA ADMINISTRAR ARCHIVOS AUXILIARES SEGÚN EL PARÁMETRO "modo"
379
380 if [ $modo -eq 1 ]; then
381
382     #1.- SE BORRAN TODOS LOS ARCHIVOS RASTER AUXILIARES CREADOS EN EL PROCESO
383
384     g.remove -f type=raster name=HPF_mfilter
385
386     for capa in $(cat resamp_ban.txt)
387     do
388         g.remove -f type=raster name=$capa
389     done
390
391     for capa in $(cat bandas.txt)
392     do
393         g.remove -f type=raster name=fus_$capa
394     done
395
396     #2.- SE BORRAN TODOS LOS ARCHIVOS DE TEXTO AUXILIARES CREADOS EN EL PROCESO
397
398     rm parametros.txt
399     rm bandas.txt
400     rm ban.txt
401     rm kernel$hpk.txt
402     rm region.txt
403     rm limites.txt
404     rm resamp_ban.txt
405
406     #3.- SE DESACTIVAN TODAS LAS VARIABLES AUXILIARES CREADAS EN EL PROCESO
407
408     unset grupo
409     unset pan
410     unset method
411     unset sd_w
412     unset modo
413     unset N
414     unset ms

```



```

415     unset pan
416     unset rm
417     unset rp
418     unset hpk
419     unset vc
420     unset m
421     unset hpk2
422     unset n
423     unset s
424     unset w
425     unset e
426     unset sd_pan
427     unset sd0
428     unset sd1
429     unset u0
430     unset u1
431     unset gain
432     unset bias
433
434 fi
435
436
437 exit
438
439
440 #ARCHIVOS Y VARIABLES UTILIZADAS
441
442 #####ARCHIVOS RASTER#####
443 #HPF_mfilter   Banda pancromática filtrada
444 #resamp_$capa  Bandas multiespectrales remuestreadas
445 #fus_$capa     Bandas fusionadas
446 #fus_HPF_$capa Bandas fusionadas (ajustando media y desviación estandar) mediante el método HPF
447
448 #####ARCHIVOS DE TEXTO#####
449 #parametros.txt Listado con los parámetros de entrada
450 #bandas.txt     Listado con los nombres de las bandas multiespectrales. Incluye @mapset
451 #ban.txt        Listado con los nombres de las bandas multiespectrales. Se elimina @mapset
452 #kernel$hpk.txt Archivo de filtro para la aplicación del comando r.mfilter a la banda pancromática
453 #region.txt     Archivo para el cálculo de los nuevos límites que procesará el comando "bc"
454 #limites.txt    Archivo con los nuevos límites para la región (según la variable hpk2)
455 #resamp_ban.txt Listado con los nombres de las bandas multiespectrales remuestreadas.
456
457 #####VARIABLES#####
458 #grupo          Nombre del grupo de bandas multiespectrales creado con i.group
459 #pan            Nombre de la banda pancromática
460 #method         Método de remuestreo
461 #sd_w           Fórmula de cálculo del factor de ponderación W utilizado en el método HPF
462 #r_radio        Resolución radiométrica (bits) de las imágenes multiespectrales
463 #modo          Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso
464 #N              Número de bandas multiespectrales
465 #ms            Nombre de una banda multiespectral
466 #pan           Nombre de la banda pancromática
467 #rm            Resolución espacial de las bandas multiespectrales
468 #rp            Resolución espacial de la banda pancromática
469 #hpk           Tamaño de la ventana para aplicar el filtro
470 #vc           Valor central especificado para la ventana de filtraje
471 #m            Factor de ponderación
472 #hpk2         Número de filas o columnas que no se incluirá en los cálculos
473 #n            Nuevo límite norte para especificar la región (según la variable hpk2)
474 #s            Nuevo límite sur para especificar la región (según la variable hpk2)
475 #w            Nuevo límite oeste para especificar la región (según la variable hpk2)
476 #e            Nuevo límite este para especificar la región (según la variable hpk2)
477 #sd_pan       Desviación típica de la imagen pancromática filtrada
478 #sd0          Desviación estandar de la banda multiespectral original
479 #sd1          Desviación estandar de la banda fusionada
480 #u0           Media de la banda multiespectral original
481 #u1           Media de la banda fusionada
482 #gain         Parámetro para el ajuste lineal de la banda fusionada
483 #bias         Parámetro para el ajuste lineal de la banda fusionada
484 #rr           Nivel Digital máximo según el parámetro r_radio

```

```

1  #!/bin/sh
2  # This program is Free Software under the GNU GPL (>=V2).
3  # calculate ACP Resolution Merge for raster data
4  if test "$GISBASE" = ""; then
5  echo "You must be in GRASS to run this program."
6  exit
7  fi
8
9  clear
10
11 echo
12 echo "*****"
13 echo "FUSIÓN DE IMÁGENES POR EL MÉTODO ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES"
14 echo "*****"
15
16 echo "Descripción:"
17 echo " Script para fusión de capas multiespectrales (agrupadas con i.group) de baja resolución co
n una capa pancromática de alta resolución."
18 echo
19 echo "Uso:"
20 echo " sh fusion_acp_vXX.sh grupo=name pan=name method=string matrix=string r_radio=value modo=va
lue"
21 echo
22 echo "Parámetros:"
23 echo "      grupo  Nombre del grupo de capas multiespectrales creado con i.group"
24 echo "      pan    Nombre de la capa pancromática"
25 echo "      method Método de remuestreo"
26 echo "      opciones: nearest,bilinear,bicubic"
27 echo "      preestablecido: bilinear"
28 echo "      matrix  Establecer la matriz de eigenvectores para los cálculos de transformació
n ACP"
29 echo "      opciones: grass,nombre_del_archivo"
30 echo "      grass: Utilizar la matriz de eigenvectores generada por el módulo i.pca
de GRASS"
31 echo "      nombre_del_archivo: Utilizar un archivo proporcionado por el usuario co
n la matriz de eigenvectores (n x n); n filas con n campos, cada campo separado por un espacio"
32 echo "      preestablecido: grass"
33 echo "      r_radio Resolución radiométrica (bits) de las imágenes multiespectrales"
34 echo "      modo    Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso"
35 echo "      opciones: 1,2"
36 echo "      1: El script corre en modo normal (al final del script se borran archivo
s auxiliares creados en el proceso)"
37 echo "      2: El script corre en modo prototipo (se preservan los archivos y mapas
auxiliares creados en el proceso)"
38 echo "      preestablecido: 1"
39 echo
40 echo "Nota:"
41 echo "      Los nombres de las bandas no deben contener puntos ni guión medio"
42 echo
43
44 #Condicional para mostrar la ayuda del script y salir
45 if [ "$1" = "-help" ] || [ "$1" = "--help" ]; then
46     exit
47 fi
48
49
50 #Administración y validación de los parámetros de entrada
51 echo $* | sed 's/ /\n/g' > parametros.txt
52
53 if [ "`cat parametros.txt | grep 'grupo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; then
54     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <grupo>"
55     exit
56 else
57     grupo=`cat parametros.txt | grep 'grupo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
58 fi
59
60 if [ "`cat parametros.txt | grep 'pan' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; then
61     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <pan>"
62     exit
63 else
64     pan=`cat parametros.txt | grep 'pan' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
65 fi

```

```

66
67 if [ "`cat parametros.txt | grep 'method' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; the
n
68 method=bilinear
69 else
70 method=`cat parametros.txt | grep 'method' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
71 if test $method = "nearest" -o $method = "bilinear" -o $method = "bicubic"; then true
72 else
73 g.message -e message="Disculpe pero el parámetro <method=$method> no es una opción válida"
74 echo "opciones: nearest,bilinear,bicubic"
75 exit
76 fi
77 fi
78
79 if [ "`cat parametros.txt | grep 'matrix' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; the
n
80 matrix=grass
81 else
82 matrix=`cat parametros.txt | grep 'matrix' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
83 if test $matrix = "grass"; then true
84 else
85 if [ -f $matrix ]; then true
86 else
87 g.message -e message="Disculpe pero el archivo <$matrix> no está presente"
88 echo "opciones: grass,nombre_del_archivo (para la segunda opción, el archivo debe estar en
el directorio actual)"
89 exit
90 fi
91 fi
92 fi
93
94 if [ "`cat parametros.txt | grep 'r_radio' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; th
en
95 g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <r_radio>"
96 exit
97 else
98 r_radio=`cat parametros.txt | grep 'r_radio' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
99 fi
100
101 if [ "`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
102 modo=1
103 else
104 modo=`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
105 if test $modo = "1" -o $modo = "2"; then true
106 else
107 g.message -e message="Disculpe pero el parámetro <modo=$modo> no es una opción válida"
108 echo "opciones: 1,2"
109 exit
110 fi
111 fi
112
113
114 #CREA LISTADO CON LAS CAPAS DEL GRUPO DE BANDAS MULTIESPECTRALES
115 i.group group=$grupo -g > bandas.txt
116
117 awk 'BEGIN { FS = "@" } ; { print $1 }' < bandas.txt > ban.txt
118
119 #Cálculo del número de bandas multiespectrales (incluidas en el grupo)
120 N=`sed -n '$=' bandas.txt`
121
122
123 #CÁLCULO DE LAS BANDAS ORIGINALES REMUESTREADAS A LA RESOLUCIÓN DE LA PANCROMÁTICA
124 g.region rast=$pan
125
126 #Remuestreo de las bandas multiespectrales. Además se crea un archivo que contendra "N" registro
s con los nombres de bandas remuestreadas (archivo resamp_ban.txt)
127 >resamp_ban.txt
128 for capa in $(cat bandas.txt)
129 do
130 r.resamp.interp --o input=$capa output=resamp_$capa method=$method
131 echo "resamp_$capa" >> resamp_ban.txt
132 done

```

```

133
134
135 #EL SIGUIENTE PROCESO GENERA LA VARIABLE <resamp1_ban> A PARTIR DEL ARCHIVO "resamp_ban.txt" (se
    utilizará para el módulo i.pca)
136
137 resamp1_ban=`cat resamp_ban.txt | tr '\n' ',' | sed 's/.$//'\`
138
139
140 #CÁLCULO CON GRASS DE COMPONENTES PRINCIPALES (Incluyendo eigenvectores y eigenvalores)
141 i.pca in=$resamp1_ban out=ban.pca rescale=0,0 > pca_3.txt
142
143 #En los dos siguientes pasos se prepara el archivo "pca_3.txt" obtenido en el paso anterior, par
    a que adquiera el formato de una base de datos con campos separados por un espacio (Resultado en
    "pca.txt"):
144
145 #Primero.- Agrega un espacio antes y después de cada paréntesis y de cada coma
146 sed -e 's/( ( /g' -e 's/,/ , /g' -e 's/)/ ) /g' pca_3.txt > pca_2.txt
147 #Segundo.- Cuando encuentra dos o más espacios seguidos, los sustituye por un solo espacio
148 cat pca_2.txt | tr -s ' ' > pca_1.txt
149 #Tercero.- Se eliminan los campos innecesarios
150 #Debido al formato de la base de datos en "pca_1.txt", los campos que contienen los valores propi
    os son: 4,6,8,...,$uc extendiéndose según el número de componentes principales, igual al número d
    e bandas ingresado al componente i.pca, cantidad además, que ha sido asignada a la variable $N. A
    sí, la posición del último campo que contiene valores propios viene dado por uc=(2N + 2)
151 uc=`expr 2 \* $N + 2`
152 cut -f 4-${uc} -d " " pca_1.txt | sed 's/ , / /g' > pca.txt
153
154
155 #CÁLCULO "MANUAL" DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES (Se utilizan los componentes principales calculad
    os con el script, no los generados por el módulo GRASS i.pca)
156
157 #Generación de raster PC_# con valores cero
158 g.region rast=`sed -n 1p resamp_ban.txt`
159
160 for i in `seq 1 $N`
161 do
162     r.mapcalc --o "PC$i = 0"
163 done
164
165 #CONDICIONAL PARA DIRECCIONAR EL ARCHIVO DE EIGENVECTORES A UTILIZAR SEGÚN EL PARÁMETRO "matrix"
166
167 if [ $matrix = "grass" ]; then
168
169     #Cálculo de los componentes principales con los eigenvectores del módulo i.pca
170     for j in `seq 1 $N`
171     do
172         for i in `seq 1 $N`
173         do
174             eigenvalor=`sed -n ${i}p pca.txt | cut -d " " -f $j`
175             r.mapcalc --o "PC$i = PC$i + $eigenvalor * `sed -n ${j}p resamp_ban.txt`"
176         done
177     done
178
179 else
180
181     #Cálculo de los componentes principales con eigenvectores ingresados por el usuario
182     for j in `seq 1 $N`
183     do
184         for i in `seq 1 $N`
185         do
186             eigenvalor=`sed -n ${i}p $matrix | cut -d " " -f $j`
187             r.mapcalc --o "PC$i = PC$i + $eigenvalor * `sed -n ${j}p resamp_ban.txt`"
188         done
189     done
190
191 fi
192
193 #AJUSTE DE LA BANDA PANCROMÁTICA DE ACUERDO AL HISTOGRAMA DEL PRIMER COMPONENTE PRINCIPAL
194
195 g.region rast=$pan
196 u_pan=`r.univar -g map=$pan | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'\`
197 sd_pan=`r.univar -g map=$pan | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'\`

```

```

198
199 g.region rast=PC1
200 u_pcl=`r.univar -g map=PC1 | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
201 sd_pcl=`r.univar -g PC1 | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
202
203 gain=$(echo "scale=10;sd_pcl=$sd_pcl;sd_pan=$sd_pan;gain=sd_pcl/sd_pan;gain" | bc)
204 bias=$(echo "scale=10;u_pcl=$u_pcl;u_pan=$u_pan;gain=$gain;bias=u_pcl-(gain*u_pan);bias" | bc)
205
206 g.region rast=$pan
207 r.mapcalc --o "pan_ajust = ($pan * $gain) + $bias"
208
209 #CÁLCULO DE LAS BANDAS FUSIONADAS
210
211 #Generación de un archivo, "componentes.txt", con los "N" componentes para el cálculo de las band
as fusionadas. (Transformación inversa cambiando el primer Componente Principal por la banda panc
romática ajustada "pan_ajust")
212 echo "pan_ajust" > componentes.txt
213 for i in `seq 2 $N`
214 do
215     echo "PC$i" >> componentes.txt
216 done
217
218 #Generación de raster fus# con valores cero
219 g.region rast=`sed -n 1p resamp_ban.txt`
220
221 for i in `seq 1 $N`
222 do
223     r.mapcalc --o "fus$i = 0"
224 done
225
226 #CONDICIONAL PARA DIRECCIONAR EL ARCHIVO DE EIGENVECTORES A UTILIZAR SEGÚN EL PARÁMETRO "matrix"
227
228 if [ $matrix = "grass" ]; then
229
230     #Cálculo de las Bandas Fusionadas
231     for j in `seq 1 $N`
232     do
233         for i in `seq 1 $N`
234         do
235             eigenvalor=`sed -n ${j}p pca.txt | cut -d " " -f $i`
236             r.mapcalc --o "fus$i = fus$i + round($eigenvalor * `sed -n ${j}p componentes.txt`)"
237         done
238     done
239
240 else
241
242     #Cálculo de las Bandas Fusionadas
243     for j in `seq 1 $N`
244     do
245         for i in `seq 1 $N`
246         do
247             eigenvalor=`sed -n ${j}p $matrix | cut -d " " -f $i`
248             r.mapcalc --o "fus$i = fus$i + round($eigenvalor * `sed -n ${j}p componentes.txt`)"
249         done
250     done
251
252 fi
253
254 #Ajuste de las bandas fusionadas al rango espectral de las imágenes originales
255 #(Previamente calculamos el rango de la resolución radiométrica de las imágenes para permitir qu
e los ND de las imágenes fusionadas no excedan dicho rango)
256
257 rr=$(echo "scale=10;a=$r_radio;rr=2^a-1;rr" | bc)
258
259 for i in `seq 1 $N`
260 do
261     r.mapcalc --o "fus$i = if( fus$i<0 , 0 , if (fus$i>${rr} , ${rr} , fus$i ))"
262 done
263
264
265 #Asignación de la tabla de color 'grey' a las bandas fusionadas
266 for i in `seq 1 $N`

```

```
267 do
268     r.colors map=fus$i color=grey
269 done
270
271
272 #Se renombran las bandas fusionadas según el nombre original
273 for k in `seq 1 $N`
274 do
275     K=`sed -n ${k}p ban.txt`
276     if [ "`g.list rast pattern=fus_ACP_$K`" = "fus_ACP_$K" ];then
277         g.remove -f type=raster name=fus_ACP_$K
278         g.rename rast=fus$k,fus_ACP_$K
279     else
280         g.rename rast=fus$k,fus_ACP_$K
281     fi
282 done
283
284
285 #CONDICIONAL PARA ADMINISTRAR ARCHIVOS AUXILIARES SEGÚN EL PARÁMETRO "modo"
286
287 if [ $modo -eq 1 ]; then
288
289     #1.- SE BORRAN TODOS LOS ARCHIVOS RASTER AUXILIARES CREADOS EN EL PROCESO
290
291     for capa in $(cat resamp_ban.txt)
292     do
293         g.remove -f type=raster name=$capa
294     done
295
296     for i in `seq 1 $N`
297     do
298         g.remove -f type=raster name=ban.pca.$i
299     done
300
301     for i in `seq 1 $N`
302     do
303         g.remove -f type=raster name=PC$i
304     done
305
306     g.remove -f type=raster name=pan_ajust
307
308     #2.- SE BORRAN TODOS LOS ARCHIVOS DE TEXTO AUXILIARES CREADOS EN EL PROCESO
309
310     rm parametros.txt
311     rm bandas.txt
312     rm ban.txt
313     rm resamp_ban.txt
314     rm pca_3.txt
315     rm pca_2.txt
316     rm pca_1.txt
317     rm pca.txt
318     rm componentes.txt
319
320     #3.- SE DESACTIVAN TODAS LAS VARIABLES AUXILIARES CREADAS EN EL PROCESO
321
322     unset grupo
323     unset pan
324     unset method
325     unset matrix
326     unset modo
327     unset N
328     unset resamp1_ban
329     unset uc
330     unset i
331     unset j
332     unset eigenvalor
333     unset minPC1
334     unset maxPC1
335     unset minPAN
336     unset maxPAN
337     unset k
338     unset K
```

```

339
340 fi
341
342
343 exit
344
345
346 #ARCHIVOS Y VARIABLES UTILIZADAS
347
348 #####ARCHIVOS RASTER#####
349 #resamp_$capa      Bandas multiespectrales remuestreadas
350 #ban.pca.i         Componentes Principales calculados con el módulo GRASS "i.pca"
351 #PC$i              Componentes Principales calculados "manualmente"
352 #pan_ajust         Banda pancromática ajustada al histograma del primer componente principal
353 #fus$i             Bandas fusionadas
354 #fus_ACP_$capa     Bandas fusionadas con el nombre original y el prefijo fus_ACP_
355
356 #####ARCHIVOS DE TEXTO#####
357 #parametros.txt Listado con los parámetros de entrada
358 #bandas.txt       Listado con los nombres de las bandas multiespectrales. Incluye @mapset
359 #ban.txt          Listado con los nombres de las bandas multiespectrales. No incluye @mapse
360 #resamp_ban.txt Listado con los nombres de las bandas multiespectrales remuestreadas.
361 #pca_3.txt        Resultados de la matriz de eigenvalores y eigenvectores que arroja el mód
362 #pca_2.txt        Archivo auxiliar
363 #pca_1.txt        Archivo "pca_3.txt" dispuesto debidamente en campos separados por UN espa
364 #pca.txt          Matriz de eigenvectores
365 #componentes.txt Listado con los nombres de los Componentes para la transformación invers
366 #a ACP
367
368 #####VARIABLES#####
369 #grupo            Nombre del grupo de bandas multiespectrales creado con i.group
370 #pan              Nombre de la banda pancromática
371 #method           Método de remuestreo
372 #matrix           Nombre del archivo con la matriz de eigenvectores para los cálculos de tr
373 #ansformación ACP
374 #r_radio          Resolución radiométrica (bits) de las imágenes multiespectrales
375 #modo             Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso
376 #N               Número de bandas multiespectrales
377 #resamp1_ban      Nombres de las bandas multiespectrales remuestreadas
378 #uc              Posición del último campo en "pca_1.txt" con datos de eigenvectores
379 #i               Contador
380 #j               Contador
381 #u_pan           Media de la banda pancromática
382 #sd_pan          Desviación estandar de la banda pancromática
383 #u_pc1           Media del primer componente principal (PC1)
384 #sd_pc1         Desviación estandar del primer componente principal (PC1)
385 #gain            Parámetro para el ajuste lineal de la banda pancromática
386 #bias            Parámetro para el ajuste lineal de la banda pancromática
387 #eigenvalor      Cada dato de la matriz de eigenvectores
388 #rr             Nivel Digital máximo según el parámetro r_radio
389 #k              Contador
390 #K              Variable iterativa con los nombres de las bandas originales

```

```

1  #!/bin/sh
2  # This program is Free Software under the GNU GPL (>=V2).
3  # calculate GS Resolution Merge for raster data
4  if test "$GISBASE" = ""; then
5  echo "You must be in GRASS to run this program."
6  exit
7  fi
8
9  clear
10
11 echo
12 echo "*****"
13 echo "FUSIÓN DE IMÁGENES POR EL MÉTODO GRAM-SCHMIDT"
14 echo "*****"
15
16 echo "Descripción:"
17 echo " Script para fusión de capas multiespectrales (agrupadas con i.group) de baja resolución co
n una capa pancromática de alta resolución."
18 echo
19 echo "Uso:"
20 echo " sh fusion_gs_vXX.sh grupo=name pan=name method=string r_radio=value modo=value"
21 echo
22 echo "Parámetros:"
23 echo "      grupo  Nombre del grupo de capas multiespectrales creado con i.group"
24 echo "      pan    Nombre de la capa pancromática"
25 echo "      method Método de remuestreo"
26 echo "              opciones: nearest,bilinear,bicubic"
27 echo "              preestablecido: bilinear"
28 echo "      r_radio Resolución radiométrica (bits) de las imágenes multiespectrales"
29 echo "      modo    Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso"
30 echo "              opciones: 1,2"
31 echo "              1: El script corre en modo normal (al final del script se borran archivo
s auxiliares creados en el proceso)"
32 echo "              2: El script corre en modo prototipo (se preservan los archivos y mapas
auxiliares creados en el proceso)"
33 echo "              preestablecido: 1"
34 echo
35 echo "Nota:"
36 echo "      Los nombres de las bandas no deben contener puntos ni guión medio"
37 echo
38
39 #Condicional para mostrar la ayuda del script y salir
40 if [ "$1" = "-help" ] || [ "$1" = "--help" ]; then
41     exit
42 fi
43
44
45 #Administración y validación de los parámetros de entrada
46 echo $* | sed 's/ /\n/g' > parametros.txt
47
48 if [ "`cat parametros.txt | grep 'grupo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; then
49     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <grupo>"
50     exit
51 else
52     grupo=`cat parametros.txt | grep 'grupo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
53 fi
54
55 if [ "`cat parametros.txt | grep 'pan' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; then
56     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <pan>"
57     exit
58 else
59     pan=`cat parametros.txt | grep 'pan' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
60 fi
61
62 if [ "`cat parametros.txt | grep 'method' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; the
n
63     method=bilinear
64 else
65     method=`cat parametros.txt | grep 'method' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
66     if test $method = "nearest" -o $method = "bilinear" -o $method = "bicubic"; then true
67     else
68         g.message -e message="Disculpe pero el parámetro <method=$method> no es una opción válida"

```



```

69     echo "opciones: nearest,bilinear,bicubic"
70     exit
71 fi
72 fi
73
74 if [ "`cat parametros.txt | grep 'r_radio' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; then
75     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <r_radio>"
76     exit
77 else
78     r_radio=`cat parametros.txt | grep 'r_radio' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
79 fi
80
81 if [ "`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; then
82     modo=1
83 else
84     modo=`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
85     if test $modo = "1" -o $modo = "2"; then true
86     else
87         g.message -e message="Disculpe pero el parámetro <modo=$modo> no es una opción válida"
88         echo "opciones: 1,2"
89         exit
90     fi
91 fi
92
93
94 #CREA LISTADO CON LAS CAPAS DEL GRUPO DE BANDAS MULTIESPECTRALES
95 i.group group=$grupo -g > bandas.txt
96
97 awk 'BEGIN { FS = "@" } ; { print $1 }' < bandas.txt > ban.txt
98
99 #Cálculo del número de bandas multiespectrales (incluidas en el grupo)
100 N=`sed -n '$=' bandas.txt`
101
102 #CÁLCULO DE UNA BANDA PANCROMÁTICA SIMULADA DE BAJA RESOLUCIÓN (Se calcula como el promedio de la
103 s bandas multiespectrales originales: Aiazzi,2007; Nussbaum,2008; y otros)
104 ms=`sed -n 1p bandas.txt` #Variable temporal para generar una region según las bandas originales
105 g.region rast=$ms
106
107 sum1=`cat bandas.txt | tr '\n' '+' | sed 's/.$//`
108 r.mapcalc --o "pan_sim = ( $sum1 ) / $N"
109
110 #Cálculo de bandas originales restando su media (GS modificado Laben,2000)
111
112 g.region rast=$ms
113
114 i=1
115 for CAPA in $(cat bandas.txt)
116 do
117     capa=`cat ban.txt | sed -n ${i}p`
118     media=`r.univar -g map=$CAPA | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
119     r.mapcalc --o "mod_$capa = $CAPA - $media"
120     i=`expr $i + 1`
121 done
122
123 #Cálculo de la primera banda de GS (GS1 igual a la banda pancromática simulada)
124
125 g.region rast=$ms
126 r.mapcalc --o "GS1 = pan_sim"
127
128
129 #TRANSFORMACIÓN DE GRAM-SCHMIDT
130 g.region rast=$ms
131
132 >GS.txt
133 i=1
134 for CAPA in $(cat bandas.txt)
135 do
136     j=1
137     k=`expr $i + 1`
138     r.mapcalc --o "GS$k = mod_$CAPA"

```

```

139     while [ $i -ge $j ]
140     do
141         covar=`r.covar map=${CAPA},GS$j | sed -n 3p | awk 'BEGIN { FS = " " } ; { print $1 }'`
142         GS=GS$j
143         var=`r.univar -g map=GS | grep 'variance' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
144         r.mapcalc --o "GS$k = GS$k - ( $covar / $var ) * $GS"
145         j=`expr $j + 1`
146     done
147     echo "GS$k" >> GS.txt
148     i=`expr $i + 1`
149 done
150
151
152 #Ajuste (media y desviación estandar) de la banda pancromática de alta resolución al histograma d
e la la primera banda de Gram-Schmidt (GS1)
153
154 g.region rast=$pan
155 u_pan=`r.univar -g map=$pan | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
156 sd_pan=`r.univar -g map=$pan | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
157
158 g.region rast=GS1
159 u_gs1=`r.univar -g map=GS1 | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
160 sd_gs1=`r.univar -g GS1 | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
161
162 gain=$(echo "scale=10;sd_gs1=$sd_gs1;sd_pan=$sd_pan;gain=sd_gs1/sd_pan;gain" | bc)
163 bias=$(echo "scale=10;u_gs1=$u_gs1;u_pan=$u_pan;gain=$gain;bias=u_gs1-(gain*u_pan);bias" | bc)
164
165 g.region rast=$pan
166 r.mapcalc --o "pan_ajus = ($pan * $gain) + $bias"
167 echo "pan_ajus" > GS_inv.txt
168
169
170 #Resamplero de las bandas Gram-Schmidt [GS2 a GS(N+1)] a la resolución espacial de la banda pancro
mática
171
172 g.region rast=$pan
173
174 for capa in $(cat GS.txt)
175 do
176     r.resamp.interp --o input=$capa output=up_$capa method=$method
177     echo "up_$capa" >> GS_inv.txt
178 done
179
180
181 #Cálculo de bandas Gram-Schmidt [GS2 a GS(N+1)] sumando la media de la banda original correspondi
ente (GS modificado Laben,2000)
182
183 g.region rast=$pan
184
185 i=1
186 for capa in $(cat bandas.txt)
187 do
188     media=`r.univar -g map=$capa | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
189     k=`expr $i + 1`
190     GS=GS$k
191     r.mapcalc --o "mod_$GS = up_$GS + $media"
192     i=`expr $i + 1`
193 done
194
195
196 #TRANSFORMACIÓN INVERSA DE GRAM-SCHMIDT
197 g.region rast=$pan
198
199 i=1
200 for CAPA in $(cat bandas.txt)
201 do
202     j=1
203     k=`expr $i + 1`
204     capa=`cat ban.txt | sed -n ${i}p`
205     r.mapcalc --o "fus_GS_$capa = mod_GS$k"
206     while [ $i -ge $j ]
207     do

```

```

208         covar=`r.covar map=${CAPA},GS$j | sed -n 3p | awk 'BEGIN { FS = " " } ; { print $1 }'`
209         GS=GS$j
210         var=`r.univar -g map=$GS | grep 'variance' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
211         GS_inv=`cat GS_inv.txt | sed -n ${j}p`
212         r.mapcalc --o "fus_GS_$capa = fus_GS_$capa + ( $covar / $var ) * $GS_inv"
213         j=`expr $j + 1`
214     done
215     i=`expr $i + 1`
216 done
217
218 #Ajuste de las bandas fusionadas al rango espectral de las imágenes originales
219 #(Previamente calculamos el rango de la resolución radiométrica de las imágenes para permitir qu
e los ND de las imágenes fusionadas no excedan dicho rango)
220
221 rr=$(echo "scale=10;a=$r_radio;rr=2^a-1;rr" | bc)
222
223 for capa in $(cat ban.txt)
224 do
225     r.mapcalc --o "fus_GS_$capa = if( fus_GS_$capa<0 , 0 , if (fus_GS_$capa>${rr} , ${rr} , round
( fus_GS_$capa ) )"
226 done
227
228
229 #Asignación de la tabla de color 'grey' a las bandas fusionadas
230 for capa in $(cat ban.txt)
231 do
232     r.colors map=fus_GS_$capa color=grey
233 done
234
235
236 #CONDICIONAL PARA ADMINISTRAR ARCHIVOS AUXILIARES SEGÚN EL PARÁMETRO "modo"
237
238 if [ $modo -eq 1 ]; then
239
240     #1.- SE BORRAN TODOS LOS ARCHIVOS RASTER AUXILIARES CREADOS EN EL PROCESO
241
242     g.remove -f type=raster name=pan_sim
243
244     for capa in $(cat bandas.txt)
245     do
246         g.remove -f type=raster name=mod_$capa
247     done
248
249     M=`expr $N + 1`
250     for i in `seq 1 $M`
251     do
252         g.remove -f type=raster name=GS$i
253     done
254
255     g.remove -f type=raster name=pan_ajus
256
257     for i in `seq 2 $M`
258     do
259         g.remove -f type=raster name=up_GS$i
260     done
261
262     for i in `seq 2 $M`
263     do
264         g.remove -f type=raster name=mod_GS$i
265     done
266
267     #2.- SE BORRAN TODOS LOS ARCHIVOS DE TEXTO AUXILIARES CREADOS EN EL PROCESO
268
269     rm parametros.txt
270     rm bandas.txt
271     rm ban.txt
272     rm GS.txt
273     rm GS_inv.txt
274
275     #3.- SE DESACTIVAN TODAS LAS VARIABLES AUXILIARES CREADAS EN EL PROCESO
276
277     unset grupo

```

```

278         unset pan
279         unset method
280         unset modo
281         unset N
282         unset ms
283         unset sum1
284         unset i
285         unset capa
286         unset CAPA
287         unset media
288         unset j
289         unset k
290         unset covar
291         unset var
292         unset u_pan
293         unset sd_pan
294         unset u_gs1
295         unset sd_gs1
296         unset gain
297         unset bias
298         unset GS
299         unset GS_inv
300         unset M
301
302     fi
303
304
305     exit
306
307
308     #ARCHIVOS Y VARIABLES UTILIZADAS
309
310     #####ARCHIVOS RASTER#####
311     #pan_sim          Banda pancromática simulada de baja resolución
312     #mod_$capa        Bandas originales restando su media (Gram-Schmidt modificado -Laben,2000-)
313     #GS1 -GS(N+1)     Bandas transformadas (Gram-Schmidt)
314     #pan_ajus         Banda pancromática ajustada (High resolution)
315     #up_GS#           Bandas GS [GS2 a GS(N+1)] up-scaled
316     #mod_GS#          Bandas GS sumando la media de la banda original correspondiente
317     #fus_GS_$capa     Bandas fusionadas con el nombre original y el prefijo fus_GS_
318
319     #####ARCHIVOS DE TEXTO#####
320     #parametros.txt   Listado con los parámetros de entrada
321     #bandas.txt       Listado con los nombres de las bandas multiespectrales. Incluye @mapset
322     #ban.txt          Listado con los nombres de las bandas multiespectrales. No incluye @mapset
323     #GS.txt           Listado con los nombres de las bandas Gram-Schmidt [GS2 a GS(N+1)]
324     #GS_inv.txt       Listado con los nombres de las bandas para la transformación inversa de Gram-Schmidt
325
326     #####VARIABLES#####
327     #grupo            Nombre del grupo de bandas multiespectrales creado con i.group
328     #pan              Nombre de la banda pancromática
329     #method           Método de remuestreo
330     #r_radio          Resolución radiométrica (bits) de las imágenes multiespectrales
331     #modo             Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso
332     #N                Número de bandas multiespectrales
333     #ms              Variable auxiliar para fijar la región GRASS a la imagen multiespectral original
334     #sum1             Cadena de texto para suma de las bandas multiespectrales originales
335     #i                Contador
336     #capa/CAPA        Variable iterativa con los nombres del archivo señalado
337     #media            Variable iterativa con la media de la banda multiespectral
338     #j                Contador
339     #k                Contador
340     #covar            Covarianza entre las bandas indicadas
341     #var              Varianza de la banda indicada
342     #u_pan            Media de la banda pancromática
343     #sd_pan           Desviación estandar de la banda pancromática
344     #u_gs1            Media de la banda GS1
345     #sd_gs1           Desviación estandar de la banda GS1
346     #gain             Parámetro para el ajuste lineal de la banda pancromática
347     #bias             Parámetro para el ajuste lineal de la banda pancromática
348     #GS              Variable iterativa con las GS#

```

349	#GS_inv	Variable iterativa con los nombres de las bandas para la transformación inversa
	GS	
350	#rr	Nivel Digital máximo según el parámetro r_radio
351	#M	Número de bandas GS generadas (N+1)

```

1  #!/bin/sh
2  # This program is Free Software under the GNU GPL (>=V2).
3  # calculate A Universal Image Quality Index for raster data
4  if test "$GISBASE" = ""; then
5  echo "You must be in GRASS to run this program."
6  exit
7  fi
8
9  clear
10
11 echo
12 echo "*****"
13 echo "CÁLCULO DEL ÍNDICE UNIVERSAL DE CALIDAD DE IMAGEN Índice Q"
14 echo "*****"
15
16 echo "Descripción:"
17 echo " Script para una evaluación cuantitativa de la fusión de imágenes satelitales, mediante el
cálculo del Índice Universal de Calidad de Imagen (Wang,2002). La evaluación se realiza entre la
s bandas multiespectrales originales y las bandas fusionadas (en ambos casos agrupadas con i.grou
p)."
18 echo
19 echo "Uso:"
20 echo " sh indice_q_vXX.sh multi=name fus=name output=string modo=value"
21 echo
22 echo "Parámetros:"
23 echo "          multi      Nombre del grupo de bandas multiespectrales originales creado con i.grou
p"
24 echo "          fus         Nombre del grupo de bandas fusionadas creado con i.group"
25 echo "          output      Nombre para el archivo de salida (Indice_Q_output.txt)"
26 echo "          modo         Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso"
27 echo "                      opciones: 1,2"
28 echo "                      1: El script corre en modo normal (al final del script se borran archivo
s auxiliares creados en el proceso)"
29 echo "                      2: El script corre en modo prototipo (se preservan los archivos y mapas
auxiliares creados en el proceso)"
30 echo "                      preestablecido: 1"
31 echo
32 echo "Notas:"
33 echo "          Los nombres de las bandas no deben contener puntos ni guión medio"
34 echo
35
36 #Condicional para mostrar la ayuda del script y salir
37 if [ "$1" = "-help" ] || [ "$1" = "--help" ]; then
38     exit
39 fi
40
41
42 #Administración y validación de los parámetros de entrada
43 echo $* | sed 's/ /\n/g' > parametros.txt
44
45 if [ "`cat parametros.txt | grep 'multi' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; then
46     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <multi>"
47     exit
48 else
49     multi=`cat parametros.txt | grep 'multi' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
50 fi
51
52 if [ "`cat parametros.txt | grep 'fus' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; then
53     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <fus>"
54     exit
55 else
56     fus=`cat parametros.txt | grep 'fus' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
57 fi
58
59 if [ "`cat parametros.txt | grep 'output' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; the
n
60     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <output>"
61     exit
62 else
63     output=`cat parametros.txt | grep 'output' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
64 fi
65

```

```

66  if [ "`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
67      modo=1
68  else
69      modo=`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
70  if test $modo = "1" -o $modo = "2"; then true
71  else
72      g.message -e message="Disculpe pero el parámetro <modo=$modo> no es una opción válida"
73      echo "opciones: 1,2"
74      exit
75  fi
76  fi
77
78
79  #CREA ARCHIVOS CON LOS CORRESPONDIENTES LISTADOS DE CAPAS DE CADA GRUPO DE ENTRADA
80  i.group group=$multi -g > L_ms.txt
81  i.group group=$fus -g > H_fus.txt
82
83  #Comprobación del número de bandas para el cálculo del Índice Q
84  N=`sed -n '$=' L_ms.txt`
85  M=`sed -n '$=' H_fus.txt`
86
87  if [ $M -eq $N ]; then true
88  else
89      g.message -e message="Disculpe pero los grupos <$multi> y <$fus> deben contener el mismo número
90  o de bandas"
91      rm L_ms.txt
92      rm H_fus.txt
93      exit
94  fi
95
96  #Listado con los nombres de las bandas multiespectrales originales. Se excluye @mapset
97  cut -f 1 -d@ L_ms.txt > ms.txt
98
99  #REMUESTREO DE LAS BANDAS FUSIONADAS A LA RESOLUCIÓN ESPACIAL DE LAS MULTIESPECTRALES ORIGINALES
100  (Low Resolution). LAS BANDAS REMUESTREADAS SE GUARDAN EN EL ARCHIVO "L_fus.txt"
101  #Para el remuestreo se utiliza el método de interpolación nearest (vecino más próximo), pues produce la menor alteración de los valores radiométricos (Chuvieco, 1990)
102  g.region rast=`sed -n 1p L_ms.txt`
103  >L_fus.txt
104  for capa in $(cat H_fus.txt)
105  do
106      r.resamp.interp --o input=$capa output=L_$capa method=nearest
107      echo "L_$capa" >> L_fus.txt
108  done
109
110  #CÁLCULO DEL ÍNDICE Q
111  echo "ÍNDICE UNIVERSAL DE CALIDAD DE IMAGEN" >Indice_Q_$output.txt
112  echo "" >>Indice_Q_$output.txt
113  echo "Evaluación de la fusión de las siguientes bandas:" >>Indice_Q_$output.txt
114  cat L_ms.txt >> Indice_Q_$output.txt
115  echo "" >>Indice_Q_$output.txt
116  echo "Valores respectivos del Índice Q:" >>Indice_Q_$output.txt
117
118  for i in `seq 1 $N`
119  do
120      capa_x=`sed -n ${i}p L_ms.txt`
121      capa_f=`sed -n ${i}p L_fus.txt`
122      ux=`r.univar -g map=$capa_x | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
123      sdx=`r.univar -g map=$capa_x | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
124      uf=`r.univar -g map=$capa_f | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
125      sdf=`r.univar -g map=$capa_f | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
126      r.covar map=`sed -n ${i}p L_ms.txt`,`sed -n ${i}p L_fus.txt` > covar.txt
127      covar=`sed -n 3p covar.txt | awk 'BEGIN { FS = " " } ; { print $1 }`
128
129      q1=$(echo "scale=10;sdx=$sdx;sdf=$sdf;covar=$covar;q1=covar/(sdx*sdf);q1" |bc)
130      q2=$(echo "scale=10;ux=$ux;uf=$uf;q2=2*ux*uf/(ux^2+uf^2);q2" |bc)
131      q3=$(echo "scale=10;sdx=$sdx;sdf=$sdf;q3=2*sdx*sdf/(sdx^2+sdf^2);q3" |bc)
132
133      q=$(echo "scale=10;q1=$q1;q2=$q2;q3=$q3;q=q1*q2*q3;q" |bc)

```

```

135
136     I=`sed -n ${i}p ms.txt`
137     echo "Índice_Q_$I=$q" >> Indice_Q_$output.txt
138 done
139
140 cat Indice_Q_$output.txt
141
142
143 #CONDICIONAL PARA ADMINISTRAR ARCHIVOS AUXILIARES SEGÚN EL PARÁMETRO "modo"
144
145 if [ $modo -eq 1 ]; then
146
147     #1.- SE BORRAN TODOS LOS ARCHIVOS RASTER AUXILIARES CREADOS EN EL PROCESO
148
149     for capa in $(cat L_fus.txt)
150     do
151         g.remove -f type=raster name=$capa
152     done
153
154     #2.- SE BORRAN TODOS LOS ARCHIVOS DE TEXTO AUXILIARES CREADOS EN EL PROCESO
155
156     rm parametros.txt
157     rm L_ms.txt
158     rm H_fus.txt
159     rm L_fus.txt
160     rm ms.txt
161     rm covar.txt
162
163     #3.- SE DESACTIVAN TODAS LAS VARIABLES AUXILIARES CREADAS EN EL PROCESO
164
165     unset multi
166     unset fus
167     unset output
168     unset modo
169     unset N
170     unset M
171     unset i
172     unset capa_x
173     unset capa_f
174     unset ux
175     unset sdx
176     unset uf
177     unset sdf
178     unset covar
179     unset q1
180     unset q2
181     unset q3
182     unset I
183     unset q
184
185 fi
186
187
188 exit
189
190
191 #ARCHIVOS Y VARIABLES UTILIZADAS
192
193 #####ARCHIVOS RASTER#####
194 #L_$capa          Bandas fusionadas remuestreadas a baja resolución espacial
195
196 #####ARCHIVOS DE TEXTO#####
197 #parametros.txt   Listado con los parámetros de entrada
198 #L_ms.txt         Listado con los nombres de las bandas multiespectrales originales. Incluye @
199 #H_fus.txt        Listado con los nombres de las bandas fusionadas. Incluye @mapset
200 #L_fus.txt        Listado con los nombres de las bandas fusionadas remuestreadas a baja resolu
201 #ms.txt           Listado con los nombres de las bandas multiespectrales originales. Se excluy
202 #covar.txt        Matriz de covarianza (para cada par de bandas en la iteración)
203 #Indice_Q_output.txt Archivo con los resultados del Índice Q para cada banda

```



```
204
205 #####VARIABLES#####
206 #multi      Nombre del grupo de bandas multiespectrales originales creado con i.group
207 #fus        Nombre del grupo de bandas fusionadas creado con i.group
208 #output      Nombre para el archivo de salida (Indice_Q_output.txt)
209 #modo        Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso
210 #N           Número de bandas en el grupo <multi>
211 #M           Número de bandas en el grupo <fus>
212 #i           Contador
213 #capa_x      Banda multiespectral a analizar
214 #capa_f      Banda fusionada a analizar
215 #ux          Media de la banda multiespectral (para cada banda en la iteración)
216 #sdx         Desviación estandar de la banda multiespectral (para cada banda en la iterac
ión)
217 #uf          Media de la banda fusionada (para cada banda en la iteración)
218 #sdf         Desviación estandar de la banda fusionada (para cada banda en la iteración)
219 #covar       Covarianza entre la banda multiespectral y la banda fusionada
220 #q1          Pérdida de Correlación (para cada banda en la iteración)
221 #q2          Distorsión de Luminancia (para cada banda en la iteración)
222 #q3          Distorsión de Contraste (para cada banda en la iteración)
223 #I           Nombre "corto" de la banda multiespectral (para cada banda en la iteración)
224 #q           Índice Q (para cada banda en la iteración)
```

```

1  #!/bin/sh
2  # This program is Free Software under the GNU GPL (>=V2).
3  # calculate ERGAS Index for raster data
4  if test "$GISBASE" = ""; then
5  echo "You must be in GRASS to run this program."
6  exit
7  fi
8
9  clear
10
11 echo
12 echo "*****"
13 echo "CÁLCULO DEL ÍNDICE ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse)"
14 echo "*****"
15
16 echo "Descripción:"
17 echo " Script para una evaluación cuantitativa de la fusión de imágenes satelitales, mediante el
cálculo del Índice ERGAS (Wald,2000). La evaluación espectral se realiza entre las bandas multiespectrales y las bandas fusionadas (en ambos casos agrupadas con i.group). En el caso del índice ERGAS espacial (Lillo Saavedra, 2004), se utiliza la imagen fuente pancromática utilizada en la fusión."
18
19 echo "Uso:"
20 echo " sh indice_ergas_vXX.sh multi=name fus=name output=string pan=name method=string modo=value"
21
22 echo "Parámetros:"
23 echo "          multi      Nombre del grupo de bandas multiespectrales originales creado con i.group"
24 echo "          fus         Nombre del grupo de bandas fusionadas creado con i.group"
25 echo "          output      Nombre para el archivo de salida (Indice_ERGAS_output.txt)"
26 echo "          pan          Nombre de la banda pancromática utilizada en la fusión"
27 echo "                      opciones: 0,<pan>"
28 echo "                      0: El script solo calcula el índice ERGAS espectral"
29 echo "                      <pan>: El script calcula los índices ERGAS espectral y ERGAS espacial"
30 echo "                      preestablecido: 0"
31 echo "          method      Método de remuestreo"
32 echo "                      opciones: nearest,bilinear,bicubic"
33 echo "                      preestablecido: nearest"
34 echo "          modo         Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso"
35 echo "                      opciones: 1,2"
36 echo "                      1: El script corre en modo normal (al final del script se borran archivos auxiliares creados en el proceso)"
37 echo "                      2: El script corre en modo prototipo (se preservan los archivos y mapas auxiliares creados en el proceso)"
38 echo "                      preestablecido: 1"
39
40 echo "Notas:"
41 echo "      Los nombres de las bandas no deben contener puntos ni guión medio"
42 echo
43
44 #Condicional para mostrar la ayuda del script y salir
45 if [ "$1" = "-help" ] || [ "$1" = "--help" ]; then
46     exit
47 fi
48
49
50 #Administración y validación de los parámetros de entrada
51 echo $* | sed 's/ /\n/g' > parametros.txt
52
53 if [ "`cat parametros.txt | grep 'multi' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
54     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <multi>"
55     exit
56 else
57     multi=`cat parametros.txt | grep 'multi' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
58 fi
59
60 if [ "`cat parametros.txt | grep 'fus' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
61     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <fus>"
62     exit
63 else
64     fus=`cat parametros.txt | grep 'fus' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`

```

```

65  fi
66
67  if [ "`cat parametros.txt | grep 'output' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
68      g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar el parámetro <output>"
69      exit
70  else
71      output=`cat parametros.txt | grep 'output' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
72  fi
73
74  if [ "`cat parametros.txt | grep 'pan' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ] || [ "`
cat parametros.txt | grep 'pan' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "0" ]; then
75      pan=0
76  else
77      pan=`cat parametros.txt | grep 'pan' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
78      if [ "`g.list rast pattern=$pan`" = $pan ]; then true
79      else
80          g.message -e message="Disculpe pero el archivo raster pan=<$pan> no está presente"
81          echo "opciones: 0,<pan>"
82          exit
83      fi
84  fi
85
86  if [ "`cat parametros.txt | grep 'method' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
87      method=nearest
88  else
89      method=`cat parametros.txt | grep 'method' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
90      if test $method = "nearest" -o $method = "bilinear" -o $method = "bicubic"; then true
91      else
92          g.message -e message="Disculpe pero el parámetro <method=$method> no es una opción válida"
93          echo "opciones: nearest,bilinear,bicubic"
94          exit
95      fi
96  fi
97
98  if [ "`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
99      modo=1
100  else
101      modo=`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
102      if test $modo = "1" -o $modo = "2"; then true
103      else
104          g.message -e message="Disculpe pero el parámetro <modo=$modo> no es una opción válida"
105          echo "opciones: 1,2"
106          exit
107      fi
108  fi
109
110
111  #CREA ARCHIVOS CON LOS CORRESPONDIENTES LISTADOS DE CAPAS DE CADA GRUPO DE ENTRADA
112  i.group group=$multi -g > L_ms.txt
113  i.group group=$fus -g > H_fus.txt
114
115  #Comprobación del número de bandas para el cálculo del Índice ERGAS
116  N=`sed -n '$=' L_ms.txt`
117  M=`sed -n '$=' H_fus.txt`
118
119  if [ $M -eq $N ]; then true
120  else
121      g.message -e message="Disculpe pero los grupos <$multi> y <$fus> deben contener el mismo número
o de bandas"
122      rm L_ms.txt
123      rm H_fus.txt
124      exit
125  fi
126
127  #Listado con los nombres de las bandas multiespectrales originales. Se excluye @mapset
128  cut -f 1 -d@ L_ms.txt > ms.txt
129
130
131  #ASIGNACIÓN DE VARIABLES DE LA RESOLUCIÓN ESPACIAL DE LAS IMAGENES FUENTE: MULTIESPECTRAL Y PANCR
OMÁTICA

```

```

132 banda_ms=`sed -n 1p L_ms.txt` #Variable temporal para el cálculo de res_L
133 banda_fus=`sed -n 1p H_fus.txt` #variable temporal para el cálculo de res_H
134
135 res_L=`g.region -g rast=$banda_ms | grep 'nsres' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
136 res_H=`g.region -g rast=$banda_fus | grep 'nsres' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
137
138
139 #REMUESTREO DE LAS BANDAS MULTIESPECTRALES A LA RESOLUCIÓN ESPACIAL DE LAS BANDAS FUSIONADAS (High Resolution). LAS BANDAS REMUESTREADAS SE GUARDAN EN EL ARCHIVO "H_ms.txt"
140 #Para el remuestreo se utiliza el método de interpolación introducido como parámetro de entrada
141 g.region rast=$banda_fus
142
143 >H_ms.txt
144 for capa in $(cat L_ms.txt)
145 do
146     r.resamp.interp --o input=$capa output=H_$capa method=$method
147     echo "H_$capa" >> H_ms.txt
148 done
149
150
151 #CÁLCULO DEL ÍNDICE ERGAS ESPECTRAL
152 #ergas_spec_$i -> Índice ERGAS espectral banda i
153 #ergas_spec_fusion -> Índice ERGAS espectral considerando todas las bandas
154
155 echo "ÍNDICE ERGAS" >Indice_ERGAS_$output.txt
156 echo "" >>Indice_ERGAS_$output.txt
157 echo "Evaluación de la fusión de las siguientes bandas:" >>Indice_ERGAS_$output.txt
158 cat L_ms.txt >> Indice_ERGAS_$output.txt
159 echo "" >>Indice_ERGAS_$output.txt
160 echo "Valores para el Índice ERGAS espectral:" >>Indice_ERGAS_$output.txt
161
162 sumatoria=0
163 for i in `seq 1 $N`
164 do
165     H_ms=`sed -n ${i}p H_ms.txt`
166     H_fus=`sed -n ${i}p H_fus.txt`
167     r.mapcalc --o "err2 = ($H_ms - $H_fus)^2"
168     sum1=`r.univar -g map=err2 | grep 'sum' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
169     sum2=`/usr/bin/printf "%f\n" $sum1`
170     suma=`echo $sum2 | sed 's/,./g'`
171     np=`r.univar -g map=err2 | sed -n 1p | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
172     rmse_spec=$(echo "scale=10;suma=$suma;np=$np;rmse_spec=sqrt(suma/np);rmse_spec" | bc)
173     multi_i=`r.univar -g map=$H_ms | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
174     radicando=$(echo "scale=10;rmse_spec=$rmse_spec;multi_i=$multi_i;\
175     radicando=(rmse_spec/multi_i)^2;radicando" | bc)
176     sumatoria=$(echo "scale=10;sumatoria=$sumatoria;radicando=$radicando;\
177     sumatoria=sumatoria+radicando;sumatoria" | bc)
178     ergas_spec=$(echo "scale=10;rm=$res_L;rp=$res_H;radicando=$radicando;\
179     ergas_spec=100*(rp/rm)*sqrt(radicando);ergas_spec" | bc)
180
181     I=`sed -n ${i}p ms.txt`
182     echo "ergas_spec_$I=$ergas_spec" >>Indice_ERGAS_$output.txt
183 done
184
185 ergas_spec=$(echo "scale=10;rm=$res_L;rp=$res_H;radicando=$sumatoria;n=$N;ergas_spec=100*(rp/rm)*\
186 sqrt(radicando/n);ergas_spec" | bc)
187
188 echo "" >>Indice_ERGAS_$output.txt
189
190 echo "ergas_spec_$output=$ergas_spec" >>Indice_ERGAS_$output.txt
191
192 #CONDICIONAL PARA PROSEGUIR CON LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE ERGAS ESPACIAL
193
194 if [ "$pan" = "0" ]; then true
195
196 else
197
198     #AJUSTE DEL HISTOGRAMA (media y desviación estandar) DE LA IMAGEN PANCROMÁTICA AL HISTOGRAMA
199     #DE CADA BANDA MULTIESPECTRAL
200     g.region rast=$banda_fus

```

```

201
202 >pan_ms.txt
203 i=1
204 for capa in $(cat L_ms.txt)
205 do
206     sd0=`r.univar -g map=$capa | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
207     sd1=`r.univar -g map=$pan | grep 'stddev' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
208     u0=`r.univar -g map=$capa | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
209     u1=`r.univar -g map=$pan | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
210
211     gain=$(echo "scale=10;sd0=$sd0;sd1=$sd1;gain=sd0/sd1;gain" | bc)
212     bias=$(echo "scale=10;u0=$u0;u1=$u1;gain=$gain;bias=u0-(gain*u1);bias" | bc)
213
214     MS=`cut -f 1 -d@ L_ms.txt | sed -n ${i}p`
215     r.mapcalc --o "pan_$MS = round( ($pan * $gain) + $bias )"
216     echo "pan_$MS" >> pan_ms.txt
217     i=`expr $i + 1`
218 done
219
220
221 #CÁLCULO DEL ÍNDICE ERGAS ESPACIAL
222 #ergas_spat $i -> Índice ERGAS espacial banda i
223 #ergas_spat_fusion -> Índice ERGAS espacial considerando todas las bandas
224
225 echo "" >>Indice_ERGAS_$output.txt
226 echo "Valores para el Índice ERGAS espacial:" >>Indice_ERGAS_$output.txt
227
228 sumatoria=0
229 for i in `seq 1 $N`
230 do
231     pan_ms=`sed -n ${i}p pan_ms.txt`
232     H_fus=`sed -n ${i}p H_fus.txt`
233     r.mapcalc --o "err2 = ($pan_ms - $H_fus)^2"
234     sum1=`r.univar -g map=err2 | grep 'sum' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
235     sum2=`usr/bin/printf "%f\n" $sum1`
236     suma=`echo $sum2 | sed 's/,./g`
237     np=`r.univar -g map=err2 | sed -n 1p | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
238     rmse_spat=$(echo "scale=10;suma=$suma;np=$np;rmse_spat=sqrt(suma/np);rmse_spat" | bc)
239     pan_i=`r.univar -g map=$pan_ms | grep 'mean=' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
240     radicando=$(echo "scale=10;rmse_spat=$rmse_spat;pan_i=$pan_i;\
241     radicando=(rmse_spat/pan_i)^2;radicando" | bc)
242     sumatoria=$(echo "scale=10;sumatoria=$sumatoria;radicando=$radicando;\
243     sumatoria=sumatoria+radicando;sumatoria" | bc)
244     ergas_spat=$(echo "scale=10;rm=$res_L;rp=$res_H;radicando=$radicando;\
245     ergas_spat=100*(rp/rm)*sqrt(radicando);ergas_spat" | bc)
246
247     I=`sed -n ${i}p ms.txt`
248     echo "ergas_spat_$I=$ergas_spat" >>Indice_ERGAS_$output.txt
249 done
250
251 ergas_spat=$(echo "scale=10;rm=$res_L;rp=$res_H;radicando=$sumatoria;n=$N;ergas_spat=100*(rp/
252 rm)*sqrt(radicando/n);ergas_spat" | bc)
253
254 echo "" >>Indice_ERGAS_$output.txt
255 echo "ergas_spat_$output=$ergas_spat" >>Indice_ERGAS_$output.txt
256
257 fi
258
259 #CONDICIONAL PARA ADMINISTRAR ARCHIVOS AUXILIARES SEGÚN EL PARÁMETRO "modo"
260
261 if [ $modo -eq 1 ]; then
262
263     #1.- SE BORRAN TODOS LOS ARCHIVOS RASTER AUXILIARES CREADOS EN EL PROCESO
264
265     for capa in $(cat H_ms.txt)
266     do
267         g.remove -f type=raster name=$capa
268     done
269
270     for capa in $(cat pan_ms.txt)

```

```

272     do
273         g.remove -f type=raster name=$capa
274     done
275
276     g.remove -f type=raster name=err2
277
278     #2.- SE BORRAN TODOS LOS ARCHIVOS DE TEXTO AUXILIARES CREADOS EN EL PROCESO
279
280     rm parametros.txt
281     rm L_ms.txt
282     rm H_fus.txt
283     rm H_ms.txt
284     rm ms.txt
285     rm pan_ms.txt
286
287     #3.- SE DESACTIVAN TODAS LAS VARIABLES AUXILIARES CREADAS EN EL PROCESO
288
289     unset multi
290     unset fus
291     unset output
292     unset pan
293     unset method
294     unset modo
295     unset N
296     unset M
297     unset banda_ms
298     unset banda_fus
299     unset res_L
300     unset res_H
301     unset capa
302     unset sumatoria
303     unset i
304     unset H_ms
305     unset pan_ms
306     unset H_fus
307     unset suma
308     unset np
309     unset rmse_spec
310     unset rmse_spat
311     unset multi_i
312     unset pan_i
313     unset radicando
314     unset ergas_spec_$I
315     unset ergas_spec_$output
316     unset ergas_spat_$I
317     unset ergas_spat_$output
318     unset u0
319     unset sd0
320     unset u1
321     unset sd1
322     unset gain
323     unset bias
324     unset MS
325
326 fi
327
328
329 exit
330
331
332 #ARCHIVOS Y VARIABLES UTILIZADAS
333
334 #####ARCHIVOS RASTER#####
335 #H_$capa          Bandas multiespectrales remuestreadas (High resolution)
336 #err2             Imagen auxiliar con el cuadrado del error (ms-fus)^2 ó (pan-fus)^2
337 #pan_$MS          Banda pancromática ajustada a cada banda multiespectral
338
339 #####ARCHIVOS DE TEXTO#####
340 #parametros.txt    Listado con los parámetros de entrada
341 #L_ms.txt          Listado con los nombres de las bandas multiespectrales originales. I
342                   ncluye @mapset
343 #H_fus.txt         Listado con los nombres de las bandas fusionadas. Incluye @mapset

```

```

343 #ms.txt Listado con los nombres de las bandas multiespectrales originales. S
    e excluye @mapset
344 #H_ms.txt Listado con los nombres de las bandas multiespectrales remuestreada
    s.
345 #pan_ms.txt Listado con los nombres de la banda pancromática ajustada
346 #Indice_ERGAS_$output.txt Archivo con los resultados del Índice ERGAS para cada banda y total
347
348 #####VARIABLES#####
349 #multi Nombre del grupo de bandas multiespectrales originales creado con i.group
350 #fus Nombre del grupo de bandas fusionadas creado con i.group
351 #output Nombre para el archivo de salida (Indice_ERGAS_output.txt)
352 #pan Nombre de la banda pancromática utilizada en la fusión
353 #method Método de remuestreo
354 #modo Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso
355 #N Número de bandas en el grupo <multi>
356 #M Número de bandas en el grupo <fus>
357 #banda_ms Nombre de una banda multiespectral original
358 #banda_fus Nombre de una banda fusionada
359 #res_L Resolución espacial de las bandas multiespectrales originales
360 #res_H Resolución espacial de las bandas fusionadas
361 #capa Variable iterativa para el cálculo de las bandas multiespectrales remuestrea
    das
362 #sumatoria Variable acumulativa del radicando
363 #i Contador
364 #H_ms Banda multiespectral a analizar
365 #pan_ms Banda pancromática ajustada según banda multiespectral a analizar
366 #H_fus Banda fusionada a analizar
367 #sum1 Suma aritmética de los píxeles de la imagen auxiliar "err2" (notación cientí
    fica)
368 #sum2 Variable "sum1" en notación decimal (con coma)
369 #suma Variable "sum2" en notación decimal (con punto)
370 #np Número de píxeles de err2
371 #rmse_spec Error medio cuadrático espectral
372 #rmse_spat Error medio cuadrático espacial
373 #multi_i Media aritmética de cada banda multiespectral en la iteración
374 #pan_i Media aritmética de cada banda pancromática ajustada en la iteración
375 #radicando Radicando para la aplicación del método
376 #ergas_spec_$I Índice ERGAS espectral banda i-ésima
377 #ergas_spec_$output Índice ERGAS espectral del conjunto de bandas
378 #ergas_spat_$I Índice ERGAS espacial banda i-ésima
379 #ergas_spat_$output Índice ERGAS espacial del conjunto de bandas
380 #sd0 Desviación estandar de la banda multiespectral original
381 #sd1 Desviación estandar de la banda pancromática
382 #u0 Media de la banda multiespectral original
383 #u1 Media de la banda pancromática
384 #gain Parámetro para el ajuste lineal de la banda pancromática
385 #bias Parámetro para el ajuste lineal de la banda pancromática
386 #MS Nombre "corto" de la banda multiespectral (para cada banda en la iteración)

```



```

1  #!/bin/sh
2  # This program is Free Software under the GNU GPL (>=V2).
3  # Linear adjustment of the CLUT. Performing contrast stretching of a raster map or a group.
4  if test "$GISBASE" = ""; then
5  echo "You must be in GRASS to run this program."
6  exit
7  fi
8
9  clear
10
11 echo
12 echo "*****"
13 echo "ASIGNACIÓN DE UNA TABLA DE COLOR A UN MAPA RASTER (O GRUPO) SEGUN PERCENTILES MÍNIMO Y MÁXI
MO"
14 echo "*****"
15
16 echo "Descripción:"
17 echo " Script para asignar una tabla de color (CLUT) a un mapa raster (o grupo), mediante un ajus
te lineal del histograma(s) respectivo según percentiles mínimo y máximo, ingresados por el usuar
io."
18 echo
19 echo "Uso:"
20 echo " sh ajuste_clut_versionXX_grass7.sh raster=name group=name Pmin=value Pmax=value modo=value
"
21 echo
22 echo "Parámetros:"
23 echo "          raster  Nombre del mapa raster al que se asignará la tabla de color"
24 echo "          group    Nombre del grupo de imágenes (creado con i.group) a las que se asignará
la tabla de color"
25 echo "          Pmin      Percentil mínimo para el ajuste lineal"
26 echo "                    opciones: 0-99"
27 echo "                    preestablecido: 2"
28 echo "          Pmax       Percentil máximo para el ajuste lineal"
29 echo "                    opciones: 1-100"
30 echo "                    preestablecido: 98"
31 echo "          modo       Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso"
32 echo "                    opciones: 1,2"
33 echo "                    1: El script corre en modo normal (al final del script se borran archivo
s auxiliares creados en el proceso)"
34 echo "                    2: El script corre en modo prototipo (se preservan los archivos y mapas
auxiliares creados en el proceso)"
35 echo "                    preestablecido: 1"
36 echo
37 echo "Notas:"
38 echo "          Los nombres de las bandas no deben contener puntos ni guión medio"
39 echo
40
41 #Condicional para mostrar la ayuda del script y salir
42 if [ "$1" = "-help" ] || [ "$1" = "--help" ]; then
43     exit
44 fi
45
46
47 #Administración y validación de los parámetros de entrada
48 echo $* | sed 's/ /\n/g' > parametros.txt
49
50 if [ "`cat parametros.txt | grep 'raster' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; the
n raster=""
51 else
52     raster=`cat parametros.txt | grep 'raster' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
53 fi
54
55 if [ "`cat parametros.txt | grep 'group' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'" = "" ]; then
group=""
56 else
57     group=`cat parametros.txt | grep 'group' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
58 fi
59
60 if ([ "$raster" = "" ] && [ "$group" = "" ]); then
61     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar un parámetro: <raster> o <group>"

```

```

62     exit
63 fi
64
65 if ([ "$raster" != "" ] && [ "$group" != "" ]); then
66     g.message -e message="Disculpe pero debe ingresar solo un parámetro: <raster> o <group>"
67     exit
68 fi
69
70 if [ "`cat parametros.txt | grep 'Pmin' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; then
71     pmin=2
72 else
73     pmin=`cat parametros.txt | grep 'Pmin' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
74 fi
75
76 if [ "`cat parametros.txt | grep 'Pmax' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; then
77     pmax=98
78 else
79     pmax=`cat parametros.txt | grep 'Pmax' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
80 fi
81
82 min_pmin=0
83 max_pmin=99
84 if [ 1 -eq "$(echo "${pmin} < ${min_pmin} || ${pmin} > ${max_pmin}" | bc)" ]
85 then
86     echo "valor de <Pmin> está fuera de rango"
87     exit
88 fi
89
90 min_pmax=1
91 max_pmax=100
92 if [ 1 -eq "$(echo "${pmax} < ${min_pmax} || ${pmax} > ${max_pmax}" | bc)" ]
93 then
94     echo "valor de <Pmax> está fuera de rango"
95     exit
96 fi
97
98 if [ "`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`" = "" ]; then
99     modo=1
100 else
101     modo=`cat parametros.txt | grep 'modo' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
102     if test $modo = "1" -o $modo = "2"; then true
103     else
104         g.message -e message="Disculpe pero el parámetro <modo=$modo> no es una opción válida"
105         echo "opciones: 1,2"
106         exit
107     fi
108 fi
109
110 #ASIGNACIÓN DE LA CLUT A LAS IMÁGENES
111
112 if ([ "$raster" != "" ]); then
113
114     g.region raster=$raster
115     r.quantile input=$raster percentiles=$pmin,$pmax > percentiles.txt
116
117     a=`sed -n 1p percentiles.txt | awk 'BEGIN { FS = ":" } ; { print $3 }`
118     b=`sed -n 2p percentiles.txt | awk 'BEGIN { FS = ":" } ; { print $3 }`
119
120     min=`r.univar -g $raster | grep 'min' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
121     max=`r.univar -g $raster | grep 'max' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }`
122
123     rast=`echo $raster | awk 'BEGIN { FS = "@" } ; { print $1 }`
124
125     echo "$min 0:0:0" > clut_$rast.txt
126     echo "$a 0:0:0" >> clut_$rast.txt
127     echo "$b 255:255:255" >> clut_$rast.txt
128     echo "$max 255:255:255" >> clut_$rast.txt
129
130     r.colors map=$raster rules=clut_$rast.txt
131
132 else

```

```

134
135 i.group group=$group -g > bandas.txt
136
137 cat bandas.txt | awk 'BEGIN { FS = "@" } ; { print $1 }' > ban.txt
138
139 for capa in $(cat ban.txt)
140 do
141     g.region raster=$capa
142     r.quantile input=$capa percentiles=$pmin,$pmax > percentiles_$capa.txt
143
144     a=`sed -n 1p percentiles_$capa.txt | awk 'BEGIN { FS = ":" } ; { print $3 }'`
145     b=`sed -n 2p percentiles_$capa.txt | awk 'BEGIN { FS = ":" } ; { print $3 }'`
146
147     min=`r.univar -g $capa | grep 'min' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
148     max=`r.univar -g $capa | grep 'max' | awk 'BEGIN { FS = "=" } ; { print $2 }'`
149
150     echo "$min 0:0:0" > clut_$capa.txt
151     echo "$a 0:0:0" >> clut_$capa.txt
152     echo "$b 255:255:255" >> clut_$capa.txt
153     echo "$max 255:255:255" >> clut_$capa.txt
154
155     r.colors map=$capa rules=clut_$capa.txt
156
157 done
158
159 fi
160
161
162 #CONDICIONAL PARA ADMINISTRAR ARCHIVOS AUXILIARES SEGÚN EL PARÁMETRO "modo"
163
164 if [ $modo -eq 1 ]; then
165
166     #1.- SE BORRAN TODOS LOS ARCHIVOS DE TEXTO AUXILIARES CREADOS EN EL PROCESO
167
168     rm parametros.txt
169
170     if ([ "$rast" != "" ]); then
171         rm percentiles.txt
172         rm clut_$rast.txt
173     fi
174
175     if ([ "$group" != "" ]); then
176         for capa in $(cat ban.txt)
177         do
178             rm percentiles_$capa.txt
179             rm clut_$capa.txt
180         done
181     fi
182
183     if ([ "$group" != "" ]); then
184         rm bandas.txt
185         rm ban.txt
186     fi
187
188     #2.- SE DESACTIVAN TODAS LAS VARIABLES AUXILIARES CREADAS EN EL PROCESO
189
190     unset raster
191     unset group
192     unset pmin
193     unset pmax
194     unset modo
195     unset rast
196     unset min_pmin
197     unset max_pmin
198     unset min_pmax
199     unset max_pmax
200     unset a
201     unset b
202     unset min
203     unset max
204
205 fi

```

```

206
207
208  exit
209
210
211  #ARCHIVOS Y VARIABLES UTILIZADAS
212
213  #####ARCHIVOS DE TEXTO#####
214  #parametros.txt      Listado con los parámetros de entrada
215  #percentiles.txt     Percentiles del mapa: $raster
216  #clut_$rast.txt      Archivo de reglas para aplicar una CLUT al mapa: $raster. Se utiliza el m
                        ódulo r.colors [rules]
217  #percentiles_$capa.txt Percentiles de cada mapa raster incluido en el grupo: $group
218  #clut_$capa.txt      Archivo de reglas para aplicar una CLUT a cada mapa raster incluido en e
                        l grupo: $group. Se utiliza el módulo r.colors [rules]
219  #bandas.txt          Listado con los nombres de los mapas raster incluidos en el grupo: $grou
                        p. Incluye @mapset
220  #ban.txt             Listado con los nombres de los mapas raster incluidos en el grupo: $grou
                        p. Se excluye @mapset
221
222  #####VARIABLES#####
223  #raster              Nombre del mapa raster al que se asignará la tabla de color
224  #group               Nombre del grupo de imágenes (creado con i.group) a las que se asignará l
                        a tabla de color
225  #pmin                Percentil mínimo para el ajuste lineal
226  #pmax                Percentil máximo para el ajuste lineal
227  #modo                Administración de los archivos auxiliares creados en el proceso
228  #rast               Nombre del mapa raster al que se asignará la tabla de color. Se excluye @
                        mapset
229  #min_pmin            Valor propuesto para el percentil mínimo de <pmin> que puede ingresar el
                        usuario (0)
230  #max_pmin            Valor propuesto para el percentil máximo de <pmin> que puede ingresar el
                        usuario (99)
231  #min_pmax            Valor propuesto para el percentil mínimo de <pmax> que puede ingresar el
                        usuario (1)
232  #max_pmax            Valor propuesto para el percentil máximo de <pmax> que puede ingresar el
                        usuario (100)
233  #a                   Variable con el ND según el percentil mínimo ingresado por el usuario
234  #b                   Variable con el ND según el percentil máximo ingresado por el usuario
235  #min                 Variable con el ND mínimo del mapa(s) raster(s)
236  #max                 Variable con el ND máximo del mapa(s) raster(s)

```